

國立臺灣大學電機資訊學院光電工程學研究所

博士論文 (初稿)

Graduate Institute of Photonics and Optoelectronics

College of Electrical Engineering and Computer Science

National Taiwan University

Doctoral Dissertation (draft)

基於矽光平台上之 O-band 1×4 分波 (解) 多工濾波器

O-band 1×4 wavelength division (de)multiplexing filters
on Silicon Photonics

鍾國方

Kuo-Fang Chung

指導教授: 黃定洧 博士

Advisor: Ding-Wei Huang Ph.D.

中華民國 111 年 9 月

September, 2022

國立臺灣大學電機資訊學院光電工程學研究所

博士論文 (初稿)

Graduate Institute of Photonics and Optoelectronics

College of Electrical Engineering and Computer Science

National Taiwan University

Doctoral Dissertation (draft)

基於矽光平台上之 O-band 1×4 分波 (解) 多工濾波器
O-band 1×4 wavelength division (de)multiplexing filters
on Silicon Photonics

鍾國方

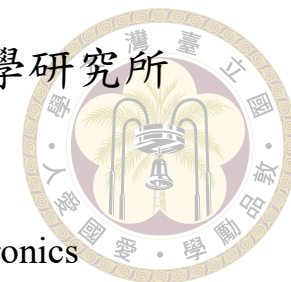
Kuo-Fang Chung

指導教授: 黃定洧 博士

Advisor: Ding-Wei Huang Ph.D.

中華民國 111 年 9 月

September, 2022



國立臺灣大學博士學位論文

口試委員會審定書



基於矽光平台上之 O-band 1×4 分波 (解) 多工濾
波器

O-band 1×4 wavelength division (de)multiplexing
filters on Silicon Photonics

本論文係鍾國方君 (D08941008) 在國立臺灣大學光電工程學研究所完成之博士學位論文，於民國 111 年 9 月 26 日承下列考試委員審查通過及口試及格，特此證明

口試委員：_____（指導教授）

所 長：_____



Acknowledgements

TBD




摘要

分波(解)多工元件由於大數據、雲端運算、及物聯網的蓬勃發展而被廣泛地使用在商業與學術用途。由於製程誤差與環境溫度的影響，分波(解)多工器與光源的雷射波長會偏移而與預期的通道波長不同。為了解決這個現象，本篇論文提出兩個研究包含電控熱調式陣列波導光柵以及布拉格光柵反向耦合器以解決之。

本論文提出一個利用 S 型陣列波導光柵中兩個三角區域補償相位的特點來設計光譜雙向可調的分波多工濾波器。在額外增加電控熱調機制於此兩區域後，元件可以在其中一個區域外加電壓之後得到光譜紅(藍)移以匹配所需的分波系統通道波長。為了降低所需電壓及模擬維度，電控熱調的電極及加熱區走線我們使用串聯至特定單位數目後再並聯的方式達成。此外，鑒於大折射率對比所帶來的小元件佔地面積、導波層較大的熱光係數、以及鎢材的高熱導率，我們可以預見位移矽基元件之濾波響應所需的熱能相比其他平台小。從實際製作出的元件我們量測得到 ± 30.5 奈米/瓦的線性且雙向可調的調製效率，即使只使用正的熱光係數材質，若外加電壓範圍 0 至 2.5 伏特其可調製範圍約 8 奈米。相比其他目前已載之熱調式陣列波導光柵，此研究的雙向可調特性、高調製效率、超低需求電壓、以及大的可調範圍完勝它們，顯示此元件對於分波(解)多工系統的潛力。

另一方面，本論文亦提出一個利用布拉格光柵反向耦合器，以達到平頭式(平頂)、超低串擾的濾波響應符合大通道間距分波系統所需。為了放寬布拉格週期



所需的最小線寬，我們使用有較小折射率之氮化矽而非矽作為導波層來實現此元件。此外，為了將通道串擾降得更低以及更有效率地設計出期望的共振波長，我們利用基於微擾式介電常數的耦合模態理論得出恰當的多模波導布拉格光柵兩側之寬度瓦楞。模擬結果顯示元件達到超低通道串擾 -25.5 分貝、超低額外損耗小於 0.3 分貝、超大的製程容忍度 ± 18 奈米、以及超寬 -25 分貝之串擾可用帶寬約 13.5 奈米。透過 S 參數觀念將四個波導布拉格光柵與刪除信號元件串接，我們得到有著 (甲) 超低額外損耗 < 0.6 分貝、(乙) 高通道均勻度 > -0.45 分貝、(丙) 寬的 1 分貝帶寬約 13.45 奈米、以及 (丁) 超低的 < -28 分貝之串擾可用帶寬約 14.35 奈米的平頂濾波響應效能。製程誤差分析顯示在極端的 ± 18 奈米之製程誤差下，通道串擾仍然維持在 < -25 分貝而不影響到額外損耗或帶寬。相較其他目前已知的大通道間距分波 (解) 多工系統濾波器，本研究提出的元件擁有超低損耗的平頂濾波響應、接近陣列波導光柵的超低通道串擾、以及最寬的 -28 分貝之串擾可用帶寬，顯示此元件對於大通道間距分波多工電信傳輸系統的強大潛力與魅力。

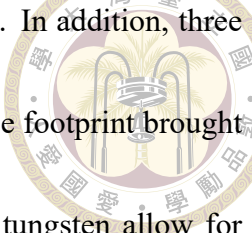
關鍵字：矽光子、陣列波導光柵、波導布拉格光柵、多模波導、分波 (解) 多工器



Abstract

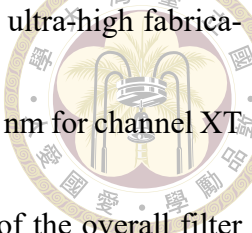
Thanks to the well development of big data, cloud computing, and the Internet of Things, wavelength division (de)multiplexing (WDM) systems have been widely utilized in commercial and academic use. Due to fabrication errors and increased environmental temperature, the spectral peak wavelengths of WDM filters and the lasing wavelengths of optical sources would deviate from the desired channels wavelengths. To address this, two studies are proposed and presented in this dissertation, including thermally tunable arrayed waveguide grating (AWG) and Bragg grating-assisted contra-directional coupler (BGACDC).

In Chapter 3, two triangular region with complementary phase distributions in an S-shaped AWG are leveraged and chosen as the thermal-tuning regions controlled by electrical voltages. Red (Blue) shifted spectra can be achieved by applying voltages on one of two regions, to meet the desired channel wavelengths. In order to reduce the required electrical voltages and the dimension degree used in simulation model, a parallel configuration



and a concept of heater unit are respectively employed for the circuit. In addition, three aspects including (i) larger thermo-optic coefficient, (ii) smaller device footprint brought by high-index contrast, and (iii) higher thermal conductivity of the tungsten allow for the lower requirement of the thermal power to shift the filtering responses, compared to other platform. From the simulation results, a linear and bi-directional tuning efficiency approximately ± 30.5 nm/W, in spite of using only materials with positive thermo-optic coefficients, is achieved at a tuning range of 8 nm in the electrical voltage range of 0–2.5 V. Given the bi-directional tunable feasibility, the ultra-high tuning efficiency, the ultra-low required voltages, and the wide tuning range, the device demonstrated in this study outperforms other thermally tunable AWGs proposed in the known literature, showing its great potential for the WDM systems.

On the other hand, a BGACDC is proposed to achieve flap-top filtering responses with ultra-low crosstalk (XT) for coarse WDM (CWDM) systems. To relax the critical dimension required for the Bragg period in O-band, silicon nitride with lower index instead of silicon is used to realize the device. In order to further reduce the channel XT and evaluate the desired resonant wavelength more efficiently, an appropriate width corrugations for both side walls of the multi-mode waveguide Bragg grating are utilized based on the perturbed-permittivity coupled mode theory. The simulation results show that ultra-low



channel XTs < -25.5 dB, ultra-low excess losses (ELs) < 0.3 dB, an ultra-high fabrication tolerance of ± 18 nm, and ultra-broad available bandwidths of 13.5 nm for channel XT below -25 dB ($ABW_{25\text{-dB}}$) are achieved. To evaluate performances of the overall filter formed by four cascaded BGACDCs and identical broadband signal dropping devices, the overall CWDM filter offers flat-top responses with ultra-low ELs < 0.6 dB, a high channel uniformity > -0.45 dB, broad 1-dB bandwidths ~ 13.45 nm, ultra-low XTs < -28 dB, and ultra-broad $ABW_{28\text{-dB}} \sim 14.35$ nm. Analysis of the tolerance showed that XTs of the overall filter remained < -25 dB even for extreme cases with ± 18 -nm over-etching errors without compromising the ELs or BWs. Compared to other CWDMs proposed in the literature to date, the device proposed in this study has the ultra-low EL with flat-top responses, ultra-low XT which is competitive with the AWGs, and the broadest $ABW_{28\text{-dB}}$, illustrating its great potential and high attractiveness for use in the CWDM telecommunication systems.

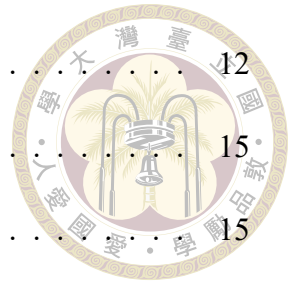
Keywords: Silicon Photonics, waveguide Bragg grating, multi-mode waveguide, wavelength division (de)multiplexer



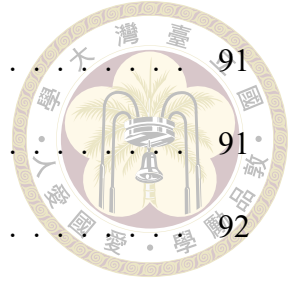
Contents

	Page
Verification Letter from the Oral Examination Committee	i
Acknowledgements	ii
摘要	iii
Abstract	v
Contents	viii
List of Figures	xi
List of Tables	xii
Chapter 1 Introduction	1
1.1 TBD	1
1.1.1 Blah, Blah, Blah, Blah	2
1.1.2 Arrayed waveguide grating (AWG)	2
1.2 Dissertation configuration	3
Chapter 2 Theoretical Background	5
2.1 Working principle of AWG	5
2.2 Working principle of thermal tuning	8
2.3 Working principle of BGACDC	9
2.3.1 Coupled-mode theory for permittivity perturbation	9

2.3.2	Transfer matrix method	12
2.4	Simulation methods	15
2.4.1	Beam propagation method (BPM)	15
2.4.2	Heat Transport (HT) solver	16
2.4.3	Finite-difference eigenmode (FDE) solver	17
2.4.4	Finite-difference time-domain (FDTD) solver	18
Chapter 3	Thermally bi-directionally tunable (TBDT) AWG	24
3.1	Simulation for passive design	26
3.2	Simulation for active design	29
3.3	Measurement results	31
3.4	Discussion	37
3.5	Summary	39
Chapter 4	Bragg grating-assisted WDM filter	42
4.1	Device structure and optimization	47
4.2	Analysis of fabrication tolerance	57
4.3	Summary	61
Chapter 5	Conclusion	65
5.1	Summary	65
5.2	Suggestion for future work	72
References		77
Appendix A — Phase correction for RSoft simulation model		91
A.1	Introduction	91
A.2	phasecor.py	91



A.3	bptmp3Dscanall.bat	91
A.4	bptmp3Dscan1.bat	91
A.5	bptmp3Dout1.bat	92
Appendix B — Adaptive particle swarm algorithm		93
B.1	Introduction	93
B.2	APSO_first	93
B.3	APSO_next	93
B.4	UDA_fom	93
Appendix C — Automated python process flow for Lumerical optimization on Taiwania 3 handled by local PC		94
C.1	Introduction	94
C.2	TBD	94





List of Figures

1.1	Schematic configuration of a conventional AWG.	2
1.2	Microscope images of an AWG for 1×8 WDM system	3
1.3	SEM images of the AWG shown in Fig. 1.2	3
2.1	Yee's Cell for solving time- and space-dependent electric and magnetic fields.	19
3.1	Effective index differences (left y axis) of adjacent AWs and wavelength shifts (right y axis) of filtering response in terms of electrical voltages at four output Channels 1.27, 1.29, 1.31, and 1.33 μm for (a–d) red-shift tuning and (e–h) blue-shift tuning, where the solid line and squared red marker represent the simulated results from Fig. ?? and the measured data from Fig. ??, respectively.	34



List of Tables

3.1 Thermal-tuning performance comparison of thermally tunable AWGs in the literature.	36
4.1 Performance comparison of CWDM filters in the literature.	56



Chapter 1 Introduction

1.1 TBD

Blah, Blah, Blah, Blah, Blah, Blah, Blah, [1,2]. Blah, Blah, Blah, Blah, Blah, Blah, Blah, Blah, Blah, Blah, Blah, Blah, Blah, Blah, [2–10, 10–61] have been implemented for desired filtering responses to improve the system. Among these platforms, silicon-on-insulator (SOI) is one of the most promising candidates for photonics integrated circuits (PICs) given the compatibility with complementary metal-oxide-semiconductor (CMOS) lithographic technology and the high maturity as well as low cost for fabrication and mass production. In recent years, Silicon Photonics (SiPh) based on SOI platform has become more and more popular for PICs [7, 8, 15, 19–23, 26, 28, 29, 32, 35, 37–41, 43, 52, 53, 55, 57, 61–85] because of the advantages.

In this dissertation, two MUXs/DEMUXs based on different mechanisms [10, 19–25, 30–32, 40–51] over the SOI platform are studied and briefly introduced in the following subsections.



Figure 1.1: Schematic configuration of a conventional AWG [86].

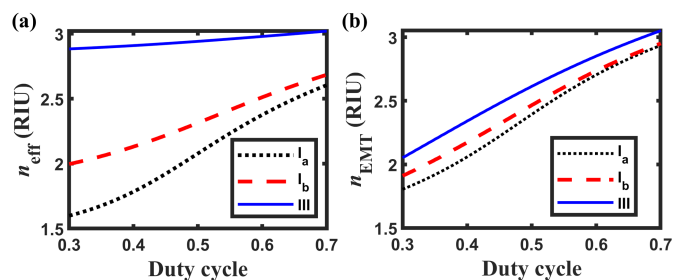


Figure 1.2: Microscope images of an AWG for 1×8 WDM system [86].

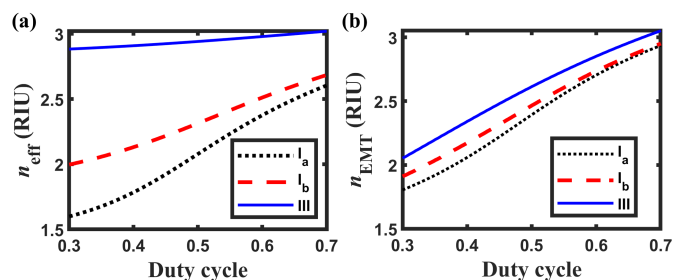


Figure 1.3: SEM images of the AWG shown in Fig. 1.2 [86].

1.1.1 Blah, Blah, Blah, Blah

[illegible]

Blah, Blah, Blah, Blah, Blah, Blah, Blah, Blah, Blah, Blah, Blah, Blah, Blah, Blah, Blah,
Blah, Blah, Blah, Blah, Blah, Blah, Blah, Blah, Blah, Blah, Blah, Blah, Blah, Blah, Blah,
Blah, Blah, Blah, Blah, Blah, Blah, Blah, Blah, Blah, Blah.



1.1.2 Arrayed waveguide grating (AWG)

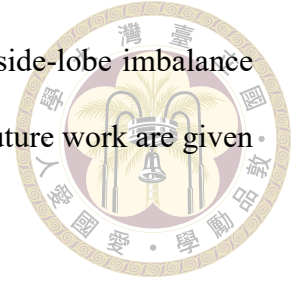
Blah, Blah, Blah, Blah, Blah, Blah, Blah, Blah, Blah, Blah, Blah, Blah, Blah,
Blah, Blah, Blah, Blah, Blah, Blah, Blah, Blah, Blah, Blah, Blah,

1.2 Dissertation configuration

This dissertation starts with the introduction in Chapter 1, illustrating research motivation and objectives. In Chapter 2, basic theories for the researches are given, including working principle of AWG (Section 2.1), thermal tuning (Section 2.2), and WBG (Section 2.3). For efficient design and analysis of the devices, four solutions including beam propagation method (BPM) (Section 2.4.1), heat transport method (Section 2.4.2), finite difference eigenmode (FDE) method (Section 2.4.3), and finite-difference time-domain (FDTD) method (Section 2.4.4) provided by commercial softwares are utilized in the studies, and briefly introduced in the corresponding subsections.

In Chapter 3, a thermally bi-directional tuning feasibility is proposed and demonstrated on an S-shaped AWG at ultra-low voltage using parallel-circuit configuration. In Chapter 4, a design methodology of WBG is presented to obtain ultra-low XTs and high fabrication tolerance. Moreover, an engineered amplitude apodization based on permittivity-perturbed coupled-mode theory (PPCMT) is employed for accurate evaluation of the resonant wavelength brought by maximum contra-directional coupling coef-

ficient, decreasing the difficulty of designing such devices and the side-lobe imbalance (SLI). At the end of this dissertation, summary and suggestions for future work are given in Chapter 5.





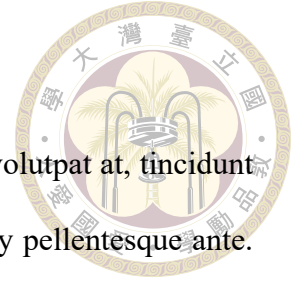
Chapter 2 Theoretical Background

2.1 Working principle of AWG

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Ut purus elit, vestibulum ut, placerat ac, adipiscing vitae, felis. Curabitur dictum gravida mauris. Nam arcu libero, nonummy eget, consectetur id, vulputate a, magna. Donec vehicula augue eu neque. Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Mauris ut leo. Cras viverra metus rhoncus sem. Nulla et lectus vestibulum urna fringilla ultrices. Phasellus eu tellus sit amet tortor gravida placerat. Integer sapien est, iaculis in, pretium quis, viverra ac, nunc. Praesent eget sem vel leo ultrices bibendum. Aenean faucibus. Morbi dolor nulla, malesuada eu, pulvinar at, mollis ac, nulla. Curabitur auctor semper nulla. Donec varius orci eget risus. Duis nibh mi, congue eu, accumsan eleifend, sagittis quis, diam. Duis eget orci sit amet orci dignissim rutrum.

Nam dui ligula, fringilla a, euismod sodales, sollicitudin vel, wisi. Morbi auctor lorem non justo. Nam lacus libero, pretium at, lobortis vitae, ultricies et, tellus. Donec aliquet, tortor sed accumsan bibendum, erat ligula aliquet magna, vitae ornare odio metus a mi. Morbi ac orci et nisl hendrerit mollis. Suspendisse ut massa. Cras nec ante. Pellentesque a nulla. Cum sociis natoque penatibus et magnis dis parturient montes, nascetur ridiculus mus. Aliquam tincidunt urna. Nulla ullamcorper vestibulum turpis. Pellentesque

cursus luctus mauris.



Nulla malesuada porttitor diam. Donec felis erat, congue non, volutpat at, tincidunt tristique, libero. Vivamus viverra fermentum felis. Donec nonummy pellentesque ante. Phasellus adipiscing semper elit. Proin fermentum massa ac quam. Sed diam turpis, molestie vitae, placerat a, molestie nec, leo. Maecenas lacinia. Nam ipsum ligula, eleifend at, accumsan nec, suscipit a, ipsum. Morbi blandit ligula feugiat magna. Nunc eleifend consequat lorem. Sed lacinia nulla vitae enim. Pellentesque tincidunt purus vel magna. Integer non enim. Praesent euismod nunc eu purus. Donec bibendum quam in tellus. Nullam cursus pulvinar lectus. Donec et mi. Nam vulputate metus eu enim. Vestibulum pellentesque felis eu massa.

Quisque ullamcorper placerat ipsum. Cras nibh. Morbi vel justo vitae lacus tincidunt ultrices. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. In hac habitasse platea dictumst. Integer tempus convallis augue. Etiam facilisis. Nunc elementum fermentum wisi. Aenean placerat. Ut imperdiet, enim sed gravida sollicitudin, felis odio placerat quam, ac pulvinar elit purus eget enim. Nunc vitae tortor. Proin tempus nibh sit amet nisl. Vivamus quis tortor vitae risus porta vehicula.

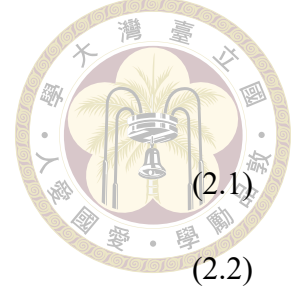
Fusce mauris. Vestibulum luctus nibh at lectus. Sed bibendum, nulla a faucibus semper, leo velit ultricies tellus, ac venenatis arcu wisi vel nisl. Vestibulum diam. Aliquam pellentesque, augue quis sagittis posuere, turpis lacus congue quam, in hendrerit risus eros eget felis. Maecenas eget erat in sapien mattis porttitor. Vestibulum porttitor. Nulla facilisi. Sed a turpis eu lacus commodo facilisis. Morbi fringilla, wisi in dignissim interdum, justo lectus sagittis dui, et vehicula libero dui cursus dui. Mauris tempor ligula sed lacus. Duis cursus enim ut augue. Cras ac magna. Cras nulla. Nulla egestas. Curabitur a leo.

Quisque egestas wisi eget nunc. Nam feugiat lacus vel est. Curabitur consecetur.

Suspendisse vel felis. Ut lorem lorem, interdum eu, tincidunt sit amet, laoreet vitae, arcu. Aenean faucibus pede eu ante. Praesent enim elit, rutrum at, molestie non, nonummy vel, nisl. Ut lectus eros, malesuada sit amet, fermentum eu, sodales cursus, magna. Donec eu purus. Quisque vehicula, urna sed ultricies auctor, pede lorem egestas dui, et convallis elit erat sed nulla. Donec luctus. Curabitur et nunc. Aliquam dolor odio, commodo pretium, ultricies non, pharetra in, velit. Integer arcu est, nonummy in, fermentum faucibus, egestas vel, odio.

Sed commodo posuere pede. Mauris ut est. Ut quis purus. Sed ac odio. Sed vehicula hendrerit sem. Duis non odio. Morbi ut dui. Sed accumsan risus eget odio. In hac habitasse platea dictumst. Pellentesque non elit. Fusce sed justo eu urna porta tincidunt. Mauris felis odio, sollicitudin sed, volutpat a, ornare ac, erat. Morbi quis dolor. Donec pellentesque, erat ac sagittis semper, nunc dui lobortis purus, quis congue purus metus ultricies tellus. Proin et quam. Class aptent taciti sociosqu ad litora torquent per conubia nostra, per inceptos hymenaeos. Praesent sapien turpis, fermentum vel, eleifend faucibus,

vehicula eu, lacus.



$$\Delta\lambda_{\text{FSR}} = N_{\text{ch}}\Delta\lambda, \quad (2.1)$$

$$m' = \frac{\lambda_0}{\Delta\lambda_{\text{FSR}}}, \quad (2.2)$$

$$m = \text{round}\left(m' \frac{n_{\text{eff}0}}{N_{\text{g}}}\right), \quad (2.3)$$

$$N_{\text{g}} = n_{\text{eff}0} - \lambda \frac{dn_{\text{eff}0}}{d\lambda}, \quad (2.4)$$

$$\Delta L_0 = m \frac{\lambda_0}{n_{\text{eff}0}}, \quad (2.5)$$

$$f = R_o = 2 R_i = \frac{n_s dD}{m' \Delta\lambda}, \quad (2.6)$$

$$D_{\text{FSR}} = D N_{\text{ch}}, \quad (2.7)$$

/lipsum

2.2 Working principle of thermal tuning

To date, some thermally tunable AWG leveraging the relation between heat and material refractive indices are implemented on different platforms [83, 84, 87–90]. Normally, a thermo-optic coefficient of $1.68 \cdot 10^{-4} / \text{K}$ is utilized for silicon layer. For more accurate evaluation, two-dimensional (2-D) simulations are performed using the heat transportation followed by the finite-difference eigenmode (FDE) solver to obtain the thermal-diffusion as well as the refractive index change profiles at different electrical voltages.

2.3 Working principle of BGACDC



Recently, a mechanism based on Bragg grating-assisted contra-directional coupling have been used to achieve a flat-top filtering response for CWDM system. To demonstrate the working principle of the device, two concepts including perturbed-permittivity coupled-mode theory (PPCMT) and its analytical expression for brief evaluation of resulting spectrum are given in the following two subsections.

2.3.1 Coupled-mode theory for permittivity perturbation

The differential equations for Bragg grating-assisted contra-directional coupling are minimally adjusted based on the perturbed-permittivity coupled-mode theory for fiber Bragg grating presented in [1], and given in the following

$$\frac{\partial B_\mu}{\partial z} = j\kappa_{dc,\mu\mu}B_\mu + j\kappa_{ac,\nu\mu}A_\nu \cdot e^{-j(\Delta\beta z - \phi(z))}, \quad (2.8)$$

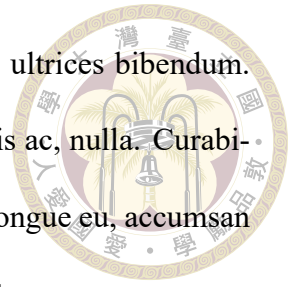
$$\frac{\partial A_\nu}{\partial z} = -j\kappa_{dc,\nu\nu}A_\nu - j\kappa_{ac,\mu\nu}B_\mu \cdot e^{j(\Delta\beta z - \phi(z))}, \quad (2.9)$$

$$\kappa_{dc,(\nu\nu,\mu\mu)} = \frac{\omega\epsilon_0}{4} \iint \Delta\epsilon_{r,dc}(x, y) \mathbf{E}_{\nu,\mu}(x, y) \cdot \mathbf{E}_{\nu,\mu}^*(x, y) dx dy, \quad (2.10)$$

$$\kappa_{ac,(\nu\mu,\mu\nu)} = \frac{\omega\epsilon_0}{4} \iint \Delta\epsilon_{r,ac}(x, y) \mathbf{E}_{\nu,\mu}(x, y) \cdot \mathbf{E}_{\mu,\nu}^*(x, y) dx dy, \quad (2.11)$$

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Ut purus elit, vestibulum ut, placerat ac, adipiscing vitae, felis. Curabitur dictum gravida mauris. Nam arcu libero, nonummy eget, consectetur id, vulputate a, magna. Donec vehicula augue eu neque. Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Mauris ut leo. Cras viverra metus rhoncus sem. Nulla et lectus vestibulum urna fringilla ultrices. Phasellus eu tellus sit amet tortor gravida placerat. Integer sapien est,

iaculis in, pretium quis, viverra ac, nunc. Praesent eget sem vel leo ultrices bibendum. Aenean faucibus. Morbi dolor nulla, malesuada eu, pulvinar at, mollis ac, nulla. Curabitur auctor semper nulla. Donec varius orci eget risus. Duis nibh mi, congue eu, accumsan eleifend, sagittis quis, diam. Duis eget orci sit amet orci dignissim rutrum.



Nam dui ligula, fringilla a, euismod sodales, sollicitudin vel, wisi. Morbi auctor lorem non justo. Nam lacus libero, pretium at, lobortis vitae, ultricies et, tellus. Donec aliquet, tortor sed accumsan bibendum, erat ligula aliquet magna, vitae ornare odio metus a mi. Morbi ac orci et nisl hendrerit mollis. Suspendisse ut massa. Cras nec ante. Pellentesque a nulla. Cum sociis natoque penatibus et magnis dis parturient montes, nascetur ridiculus mus. Aliquam tincidunt urna. Nulla ullamcorper vestibulum turpis. Pellentesque cursus luctus mauris.

Nulla malesuada porttitor diam. Donec felis erat, congue non, volutpat at, tincidunt tristique, libero. Vivamus viverra fermentum felis. Donec nonummy pellentesque ante. Phasellus adipiscing semper elit. Proin fermentum massa ac quam. Sed diam turpis, molestie vitae, placerat a, molestie nec, leo. Maecenas lacinia. Nam ipsum ligula, eleifend at, accumsan nec, suscipit a, ipsum. Morbi blandit ligula feugiat magna. Nunc eleifend consequat lorem. Sed lacinia nulla vitae enim. Pellentesque tincidunt purus vel magna. Integer non enim. Praesent euismod nunc eu purus. Donec bibendum quam in tellus. Nullam cursus pulvinar lectus. Donec et mi. Nam vulputate metus eu enim. Vestibulum pellentesque felis eu massa.

Quisque ullamcorper placerat ipsum. Cras nibh. Morbi vel justo vitae lacus tincidunt ultrices. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. In hac habitasse platea dictumst. Integer tempus convallis augue. Etiam facilisis. Nunc elementum fermentum

wisi. Aenean placerat. Ut imperdiet, enim sed gravida sollicitudin, felis odio placerat quam, ac pulvinar elit purus eget enim. Nunc vitae tortor. Proin tempus nibh sit amet nisl. Vivamus quis tortor vitae risus porta vehicula.



Fusce mauris. Vestibulum luctus nibh at lectus. Sed bibendum, nulla a faucibus semper, leo velit ultricies tellus, ac venenatis arcu wisi vel nisl. Vestibulum diam. Aliquam pellentesque, augue quis sagittis posuere, turpis lacus congue quam, in hendrerit risus eros eget felis. Maecenas eget erat in sapien mattis porttitor. Vestibulum porttitor. Nulla facilisi. Sed a turpis eu lacus commodo facilisis. Morbi fringilla, wisi in dignissim interdum, justo lectus sagittis dui, et vehicula libero dui cursus dui. Mauris tempor ligula sed lacus. Duis cursus enim ut augue. Cras ac magna. Cras nulla. Nulla egestas. Curabitur a leo. Quisque egestas wisi eget nunc. Nam feugiat lacus vel est. Curabitur consectetur.

Suspendisse vel felis. Ut lorem lorem, interdum eu, tincidunt sit amet, laoreet vitae, arcu. Aenean faucibus pede eu ante. Praesent enim elit, rutrum at, molestie non, nonummy vel, nisl. Ut lectus eros, malesuada sit amet, fermentum eu, sodales cursus, magna. Donec eu purus. Quisque vehicula, urna sed ultricies auctor, pede lorem egestas dui, et convallis elit erat sed nulla. Donec luctus. Curabitur et nunc. Aliquam dolor odio, commodo pretium, ultricies non, pharetra in, velit. Integer arcu est, nonummy in, fermentum faucibus, egestas vel, odio.

Sed commodo posuere pede. Mauris ut est. Ut quis purus. Sed ac odio. Sed vehicula hendrerit sem. Duis non odio. Morbi ut dui. Sed accumsan risus eget odio. In hac habitasse platea dictumst. Pellentesque non elit. Fusce sed justo eu urna porta tincidunt. Mauris felis odio, sollicitudin sed, volutpat a, ornare ac, erat. Morbi quis dolor. Donec pellentesque, erat ac sagittis semper, nunc dui lobortis purus, quis congue purus metus

ultricies tellus. Proin et quam. Class aptent taciti sociosqu ad litora torquent per conubia nostra, per inceptos hymenaeos. Praesent sapien turpis, fermentum vel, eleifend faucibus, vehicula eu, lacus.



2.3.2 Transfer matrix method

To describe the contra-directional coupling behavior more clearly with mathematical expression, a transfer matrix in terms of eigenvalue α_{ei} is derived as

$$\begin{bmatrix} R(z) \\ S(z) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} T_{11}(z) & T_{12}(z) \\ T_{21}(z) & T_{22}(z) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R(0) \\ S(0) \end{bmatrix}, \quad (2.12)$$

$$T_{11(22)}(z) = \cosh(\alpha z) \bar{(+)} j \frac{\delta}{\alpha} \sinh(\alpha z), \quad (2.13)$$

$$T_{12(21)}(z) = \bar{(+)} j \frac{\kappa_{ac,\mu\nu(v\mu)}}{\alpha} \sinh(\alpha z), \quad (2.14)$$

$$\delta = \frac{1}{2}(\kappa_{dc,vv} + \kappa_{dc,\mu\mu} + \Delta\beta), \quad (2.15)$$

$$\Delta\beta = \beta_v + \beta_\mu - \frac{2\pi N}{\Lambda}, \quad (2.16)$$

$$\left| \frac{S(0)}{R(0)} \right|_{S(L)=0}^2 = \left| \frac{-j \frac{\kappa_{ac,v\mu}}{\alpha} \sinh(\alpha L)}{\cosh(\alpha L) + j \frac{\delta}{\alpha} \sinh(\alpha L)} \right|^2. \quad (2.17)$$

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Ut purus elit, vestibulum ut, placerat ac, adipiscing vitae, felis. Curabitur dictum gravida mauris. Nam arcu libero, nonummy eget, consectetur id, vulputate a, magna. Donec vehicula augue eu neque. Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Mauris ut leo. Cras viverra metus rhoncus sem. Nulla et lectus vestibulum urna fringilla ultrices. Phasellus eu tellus sit amet tortor gravida placerat. Integer sapien est, iaculis in, pretium quis, viverra ac, nunc. Praesent eget sem vel leo ultrices bibendum. Aenean faucibus. Morbi dolor nulla, malesuada eu, pulvinar at, mollis ac, nulla. Curabi-

tur auctor semper nulla. Donec varius orci eget risus. Duis nibh mi, congue eu, accumsan eleifend, sagittis quis, diam. Duis eget orci sit amet orci dignissim rutrum.



Nam dui ligula, fringilla a, euismod sodales, sollicitudin vel, wisi. Morbi auctor lorem non justo. Nam lacus libero, pretium at, lobortis vitae, ultricies et, tellus. Donec aliquet, tortor sed accumsan bibendum, erat ligula aliquet magna, vitae ornare odio metus a mi. Morbi ac orci et nisl hendrerit mollis. Suspendisse ut massa. Cras nec ante. Pellentesque a nulla. Cum sociis natoque penatibus et magnis dis parturient montes, nascetur ridiculus mus. Aliquam tincidunt urna. Nulla ullamcorper vestibulum turpis. Pellentesque cursus luctus mauris.

Nulla malesuada porttitor diam. Donec felis erat, congue non, volutpat at, tincidunt tristique, libero. Vivamus viverra fermentum felis. Donec nonummy pellentesque ante. Phasellus adipiscing semper elit. Proin fermentum massa ac quam. Sed diam turpis, molestie vitae, placerat a, molestie nec, leo. Maecenas lacinia. Nam ipsum ligula, eleifend at, accumsan nec, suscipit a, ipsum. Morbi blandit ligula feugiat magna. Nunc eleifend consequat lorem. Sed lacinia nulla vitae enim. Pellentesque tincidunt purus vel magna. Integer non enim. Praesent euismod nunc eu purus. Donec bibendum quam in tellus. Nullam cursus pulvinar lectus. Donec et mi. Nam vulputate metus eu enim. Vestibulum pellentesque felis eu massa.

Quisque ullamcorper placerat ipsum. Cras nibh. Morbi vel justo vitae lacus tincidunt ultrices. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. In hac habitasse platea dictumst. Integer tempus convallis augue. Etiam facilisis. Nunc elementum fermentum wisi. Aenean placerat. Ut imperdiet, enim sed gravida sollicitudin, felis odio placerat quam, ac pulvinar elit purus eget enim. Nunc vitae tortor. Proin tempus nibh sit amet nisl.

Vivamus quis tortor vitae risus porta vehicula.

Fusce mauris. Vestibulum luctus nibh at lectus. Sed bibendum, nulla a faucibus semper, leo velit ultricies tellus, ac venenatis arcu wisi vel nisl. Vestibulum diam. Aliquam pellentesque, augue quis sagittis posuere, turpis lacus congue quam, in hendrerit risus eros eget felis. Maecenas eget erat in sapien mattis porttitor. Vestibulum porttitor. Nulla facilisi. Sed a turpis eu lacus commodo facilisis. Morbi fringilla, wisi in dignissim interdum, justo lectus sagittis dui, et vehicula libero dui cursus dui. Mauris tempor ligula sed lacus. Duis cursus enim ut augue. Cras ac magna. Cras nulla. Nulla egestas. Curabitur a leo. Quisque egestas wisi eget nunc. Nam feugiat lacus vel est. Curabitur consectetur.

Suspendisse vel felis. Ut lorem lorem, interdum eu, tincidunt sit amet, laoreet vitae, arcu. Aenean faucibus pede eu ante. Praesent enim elit, rutrum at, molestie non, nonummy vel, nisl. Ut lectus eros, malesuada sit amet, fermentum eu, sodales cursus, magna. Donec eu purus. Quisque vehicula, urna sed ultricies auctor, pede lorem egestas dui, et convallis elit erat sed nulla. Donec luctus. Curabitur et nunc. Aliquam dolor odio, commodo pretium, ultricies non, pharetra in, velit. Integer arcu est, nonummy in, fermentum faucibus, egestas vel, odio.

Sed commodo posuere pede. Mauris ut est. Ut quis purus. Sed ac odio. Sed vehicula hendrerit sem. Duis non odio. Morbi ut dui. Sed accumsan risus eget odio. In hac habitasse platea dictumst. Pellentesque non elit. Fusce sed justo eu urna porta tincidunt. Mauris felis odio, sollicitudin sed, volutpat a, ornare ac, erat. Morbi quis dolor. Donec pellentesque, erat ac sagittis semper, nunc dui lobortis purus, quis congue purus metus ultricies tellus. Proin et quam. Class aptent taciti sociosqu ad litora torquent per conubia nostra, per inceptos hymenaeos. Praesent sapien turpis, fermentum vel, eleifend faucibus,



vehicula eu, lacus.



2.4 Simulation methods

In this section, four solvers/methods are briefly introduced to efficiently design the devices presented in the latter chapters. To evaluate feasibility of a TTAWG, the beam propagation method (BPM), heat transport solver, and FDE solver respectively provided by RSoft and Lumerical are utilized. On the other hand, FDE and finite-difference time-domain (FDTD) are employed to obtain the reflected filtering response of a Bragg grating-assisted structure.

2.4.1 Beam propagation method (BPM)

The main concept of BPM [91] relies on the assumption of dividing electric field $E(x, y, z)$ into two terms including the axially slowly varying envelope term $\phi(x, y, z)$ and the rapid varying phase term $\exp(-jkn_0z)$, where $E(x, y, z)$ satisfies the three-dimensional (3-D) scalar wave equation (Helmholtz equation) expressed by

$$\frac{\partial^2 E}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 E}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 E}{\partial z^2} + k^2 n^2(x, y, z)E = 0, \quad (2.18)$$

with the electric field $E(x, y, z)$ equivalent to $\phi(x, y, z) \cdot \exp(-jkn_0z)$. By the substitution of E into (2.18), a formula for BPM can be obtained as

$$\nabla_T^2 - j2kn_0 \frac{\partial \phi}{\partial z} + k^2(n^2 - n_0^2)\phi = 0, \quad (2.19)$$

where ∇_T^2 is an operator expressed as

$$\nabla_T^2 = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2}. \quad (2.20)$$



To obtain the spatial derivative envelop along the propagation direction, (2.19) is utilized and derived into

$$\frac{\partial \phi}{\partial z} = \frac{-j}{2kn_{\text{EIM}_0}} \frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} - \frac{-jk}{2n_{\text{EIM}_0}} \left[n_{\text{EIM}}^2(x, z) - n_{\text{EIM}_0}^2 \right] \phi, \quad (2.21)$$

where the effective indices n_{EIM_0} and n_{EIM} are the effective indices calculated using effective index method (EIM) to include simulation information within height (y) direction. In Chapter 3, the BPM provided by RSoft is employed for efficient analysis of the diffractive field as well as beam focusing behavior within the region of two FPRs at different operating wavelengths.

2.4.2 Heat Transport (HT) solver

To evaluate heat transport behavior in terms of external electrical sources, three electrical-related equations should be concerned firstly, including (a) the electrical current equation (Ohm's law), (b) the auxiliary continuity equation, and (c) Gauss' law for DC permittivity ε , which can be respectively obtained by

$$\mathbf{J} = \sigma \mathbf{E} = -\sigma \nabla V, \quad (2.22)$$

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} = -\nabla \cdot \mathbf{J}, \quad (2.23)$$

$$-\nabla \cdot (\varepsilon \nabla V) = \rho, \quad (2.24)$$

where \mathbf{J} , \mathbf{E} , σ , V , ρ , and t denote current density vector, electrical field vector, electrical conductivity, electrical potential, charge density, and time, respectively. For homogeneous material system, a differential equation can thus be derived into

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\sigma}{\varepsilon} \rho = 0. \quad (2.25)$$

Under the assumption of quasi-static approximation or steady-state, (2.22) combined with (2.23) can then reduces into

$$\nabla \cdot (\sigma \mathbf{E}) = 0. \quad (2.26)$$

On the other hand, a σ -related equation, *i.e.*, power dissipation due to Ohmic loss, can be described by

$$P = \mathbf{J} \cdot \mathbf{E} = \sigma E^2, \quad (2.27)$$

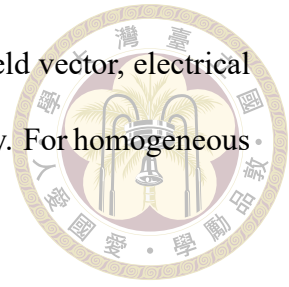
and applied to the heat transport equation as a heat energy transfer rate $Q = P$. While Q can be obtained by

$$Q = m_d C_p \frac{\partial T}{\partial t} - \nabla \cdot (k_c \nabla T), \quad (2.28)$$

where m_d , C_p , T , t , and k_c represent the mass density, the specific heat, temperature, time, and the thermal conductivity, respectively. By solving the last three equations (2.26)–(2.28), the heat transportation behavior can be evaluated. In this dissertation, the heat transport (HT) solver provided by Lumerical is utilized to efficiently analyze the thermal tuning problem.

2.4.3 Finite-difference eigenmode (FDE) solver

To solve eigenmode more efficiently, the commercial finite-difference eigenmode (FDE) solver provided by Lumerical is utilized in the following two chapters. During the



with ε , ε_r , ε_0 , μ , μ_r , and μ_0 representing electrical permittivity, relative permittivity, free-space permittivity, magnetic permeability, relative permeability, and free-space permeability, respectively. By the substitution of (2.33, 2.34) into (2.29, 2.30), two Maxwell's curl equations in linear, isotropic, nondispersive, and lossy materials can be derived as

$$\frac{\partial \mathbf{H}}{\partial t} = -\frac{1}{\mu} \nabla \times \mathbf{E} - \frac{1}{\mu} (\mathbf{M}_{\text{source}} + \sigma^* \mathbf{H}); \quad \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t} = \frac{1}{\varepsilon} \nabla \times \mathbf{H} - \frac{1}{\varepsilon} (\mathbf{J}_{\text{source}} + \sigma \mathbf{E}), \quad (2.35)$$

and then six vector components in Cartesian coordinates can be obtained [94] as

$$\frac{\partial H_x}{\partial t} = \frac{-1}{\mu} \left[\frac{\partial E_z}{\partial y} - \frac{\partial E_y}{\partial z} + (M_{\text{source}_x} + \sigma^* H_x) \right], \quad \frac{\partial E_x}{\partial t} = \frac{1}{\varepsilon} \left[\frac{\partial H_z}{\partial y} - \frac{\partial H_y}{\partial z} - (J_{\text{source}_x} + \sigma E_x) \right], \quad (2.36)$$

$$\frac{\partial H_y}{\partial t} = \frac{-1}{\mu} \left[\frac{\partial E_x}{\partial z} - \frac{\partial E_z}{\partial x} + (M_{\text{source}_y} + \sigma^* H_y) \right], \quad \frac{\partial E_y}{\partial t} = \frac{1}{\varepsilon} \left[\frac{\partial H_x}{\partial z} - \frac{\partial H_z}{\partial x} - (J_{\text{source}_y} + \sigma E_y) \right], \quad (2.37)$$

$$\frac{\partial H_z}{\partial t} = \frac{-1}{\mu} \left[\frac{\partial E_y}{\partial x} - \frac{\partial E_x}{\partial y} + (M_{\text{source}_z} + \sigma^* H_z) \right], \quad \frac{\partial E_z}{\partial t} = \frac{1}{\varepsilon} \left[\frac{\partial H_y}{\partial x} - \frac{\partial H_x}{\partial y} - (J_{\text{source}_z} + \sigma E_z) \right]. \quad (2.38)$$

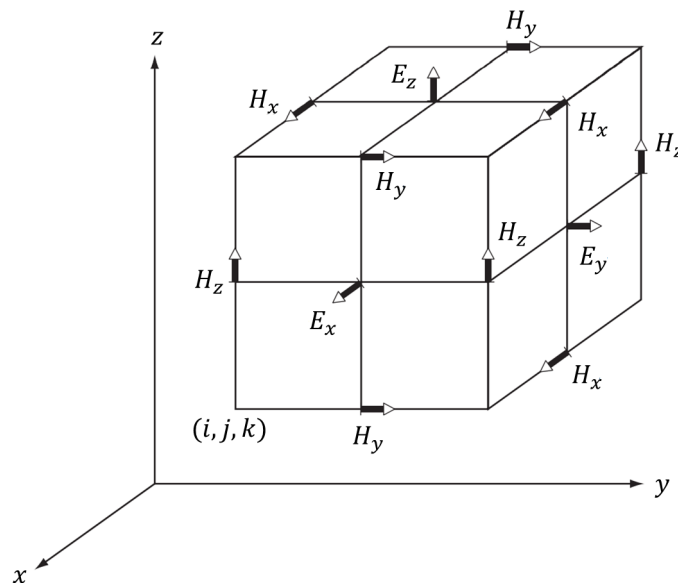
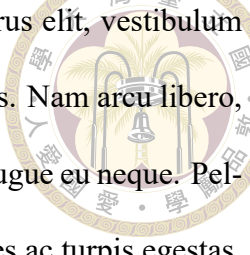


Figure 2.1: Yee's Cell for solving time- and space-dependent electric and magnetic fields.



Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Ut purus elit, vestibulum ut, placerat ac, adipiscing vitae, felis. Curabitur dictum gravida mauris. Nam arcu libero, nonummy eget, consectetur id, vulputate a, magna. Donec vehicula augue eu neque. Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Mauris ut leo. Cras viverra metus rhoncus sem. Nulla et lectus vestibulum urna fringilla ultrices. Phasellus eu tellus sit amet tortor gravida placerat. Integer sapien est, iaculis in, pretium quis, viverra ac, nunc. Praesent eget sem vel leo ultrices bibendum. Aenean faucibus. Morbi dolor nulla, malesuada eu, pulvinar at, mollis ac, nulla. Curabitur auctor semper nulla. Donec varius orci eget risus. Duis nibh mi, congue eu, accumsan eleifend, sagittis quis, diam. Duis eget orci sit amet orci dignissim rutrum.

Nam dui ligula, fringilla a, euismod sodales, sollicitudin vel, wisi. Morbi auctor lorem non justo. Nam lacus libero, pretium at, lobortis vitae, ultricies et, tellus. Donec aliquet, tortor sed accumsan bibendum, erat ligula aliquet magna, vitae ornare odio metus a mi. Morbi ac orci et nisl hendrerit mollis. Suspendisse ut massa. Cras nec ante. Pellentesque a nulla. Cum sociis natoque penatibus et magnis dis parturient montes, nascetur ridiculus mus. Aliquam tincidunt urna. Nulla ullamcorper vestibulum turpis. Pellentesque cursus luctus mauris.

Nulla malesuada porttitor diam. Donec felis erat, congue non, volutpat at, tincidunt tristique, libero. Vivamus viverra fermentum felis. Donec nonummy pellentesque ante. Phasellus adipiscing semper elit. Proin fermentum massa ac quam. Sed diam turpis, molestie vitae, placerat a, molestie nec, leo. Maecenas lacinia. Nam ipsum ligula, eleifend at, accumsan nec, suscipit a, ipsum. Morbi blandit ligula feugiat magna. Nunc eleifend consequat lorem. Sed lacinia nulla vitae enim. Pellentesque tincidunt purus vel magna. Integer non enim. Praesent euismod nunc eu purus. Donec bibendum quam in tellus.

Nullam cursus pulvinar lectus. Donec et mi. Nam vulputate metus eu enim. Vestibulum pellentesque felis eu massa.



Quisque ullamcorper placerat ipsum. Cras nibh. Morbi vel justo vitae lacus tincidunt ultrices. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. In hac habitasse platea dictumst. Integer tempus convallis augue. Etiam facilisis. Nunc elementum fermentum wisi. Aenean placerat. Ut imperdiet, enim sed gravida sollicitudin, felis odio placerat quam, ac pulvinar elit purus eget enim. Nunc vitae tortor. Proin tempus nibh sit amet nisl. Vivamus quis tortor vitae risus porta vehicula.

Fusce mauris. Vestibulum luctus nibh at lectus. Sed bibendum, nulla a faucibus semper, leo velit ultricies tellus, ac venenatis arcu wisi vel nisl. Vestibulum diam. Aliquam pellentesque, augue quis sagittis posuere, turpis lacus congue quam, in hendrerit risus eros eget felis. Maecenas eget erat in sapien mattis porttitor. Vestibulum porttitor. Nulla facilisi. Sed a turpis eu lacus commodo facilisis. Morbi fringilla, wisi in dignissim interdum, justo lectus sagittis dui, et vehicula libero dui cursus dui. Mauris tempor ligula sed lacus. Duis cursus enim ut augue. Cras ac magna. Cras nulla. Nulla egestas. Curabitur a leo. Quisque egestas wisi eget nunc. Nam feugiat lacus vel est. Curabitur consectetur.

Suspendisse vel felis. Ut lorem lorem, interdum eu, tincidunt sit amet, laoreet vitae, arcu. Aenean faucibus pede eu ante. Praesent enim elit, rutrum at, molestie non, nonummy vel, nisl. Ut lectus eros, malesuada sit amet, fermentum eu, sodales cursus, magna. Donec eu purus. Quisque vehicula, urna sed ultricies auctor, pede lorem egestas dui, et convallis elit erat sed nulla. Donec luctus. Curabitur et nunc. Aliquam dolor odio, commodo pretium, ultricies non, pharetra in, velit. Integer arcu est, nonummy in, fermentum faucibus, egestas vel, odio.

Sed commodo posuere pede. Mauris ut est. Ut quis purus. Sed ac odio. Sed vehi-
cula hendrerit sem. Duis non odio. Morbi ut dui. Sed accumsan risus eget odio. In hac
habitas platea dictumst. Pellentesque non elit. Fusce sed justo eu urna porta tincidunt.
Mauris felis odio, sollicitudin sed, volutpat a, ornare ac, erat. Morbi quis dolor. Donec
pellentesque, erat ac sagittis semper, nunc dui lobortis purus, quis congue purus metus
ultrices tellus. Proin et quam. Class aptent taciti sociosqu ad litora torquent per conubia
nostra, per inceptos hymenaeos. Praesent sapien turpis, fermentum vel, eleifend faucibus,
vehicula eu, lacus.

$$H_x|_{i,j+\frac{1}{2},k+\frac{1}{2}}^{n+1} = H_x|_{i,j+\frac{1}{2},k+\frac{1}{2}}^n - \frac{\Delta t}{\mu\Delta y} \left(E_z|_{i,j+1,k+1}^{n+\frac{1}{2}} - E_z|_{i,j,k+1}^{n+\frac{1}{2}} \right) + \frac{\Delta t}{\mu\Delta z} \left(E_y|_{i,j+\frac{1}{2},k+1}^{n+\frac{1}{2}} - E_y|_{i,j+\frac{1}{2},k}^{n+\frac{1}{2}} \right), \quad (2.39a)$$

$$H_y|_{i+\frac{1}{2},j,k+\frac{1}{2}}^{n+1} = H_y|_{i+\frac{1}{2},j,k+\frac{1}{2}}^n - \frac{\Delta t}{\mu\Delta z} \left(E_x|_{i+\frac{1}{2},j,k+1}^{n+\frac{1}{2}} - E_x|_{i+\frac{1}{2},j,k}^{n+\frac{1}{2}} \right) + \frac{\Delta t}{\mu\Delta x} \left(E_z|_{i+1,j,k+\frac{1}{2}}^{n+\frac{1}{2}} - E_z|_{i+1,j,k+\frac{1}{2}}^{n+\frac{1}{2}} \right), \quad (2.39b)$$

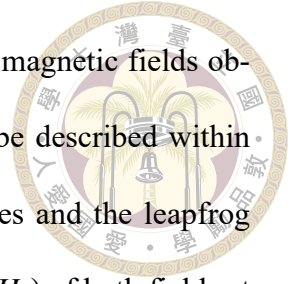
$$H_z|_{i+\frac{1}{2},j+\frac{1}{2},k}^{n+1} = H_z|_{i+\frac{1}{2},j+\frac{1}{2},k}^n - \frac{\Delta t}{\mu\Delta x} \left(E_y|_{i+1,j+\frac{1}{2},k}^{n+\frac{1}{2}} - E_y|_{i+1,j+\frac{1}{2},k}^{n+\frac{1}{2}} \right) + \frac{\Delta t}{\mu\Delta y} \left(E_x|_{i+\frac{1}{2},j+1,k}^{n+\frac{1}{2}} - E_x|_{i+\frac{1}{2},j+1,k}^{n+\frac{1}{2}} \right), \quad (2.39c)$$

$$E_x|_{i+\frac{1}{2},j,k}^{n+\frac{1}{2}} = E_x|_{i+\frac{1}{2},j,k}^{n-\frac{1}{2}} + \frac{\Delta t}{\varepsilon\Delta y} \left(H_z|_{i+\frac{1}{2},j+\frac{1}{2},k}^n - H_z|_{i+\frac{1}{2},j-\frac{1}{2},k}^n \right) - \frac{\Delta t}{\varepsilon\Delta z} \left(H_y|_{i+\frac{1}{2},j,k+\frac{1}{2}}^n - H_y|_{i+\frac{1}{2},j,k-\frac{1}{2}}^n \right), \quad (2.40a)$$

$$E_y|_{i,j+\frac{1}{2},k}^{n+\frac{1}{2}} = E_y|_{i,j+\frac{1}{2},k}^{n-\frac{1}{2}} + \frac{\Delta t}{\varepsilon\Delta z} \left(H_x|_{i,j+\frac{1}{2},k+\frac{1}{2}}^n - H_x|_{i,j+\frac{1}{2},k-\frac{1}{2}}^n \right) - \frac{\Delta t}{\varepsilon\Delta x} \left(H_z|_{i+\frac{1}{2},j+\frac{1}{2},k}^n - H_z|_{i-\frac{1}{2},j+\frac{1}{2},k}^n \right), \quad (2.40b)$$

$$E_z|_{i,j,k+\frac{1}{2}}^{n+\frac{1}{2}} = E_z|_{i,j,k+\frac{1}{2}}^{n-\frac{1}{2}} + \frac{\Delta t}{\varepsilon\Delta x} \left(H_y|_{i+\frac{1}{2},j,k+\frac{1}{2}}^n - H_y|_{i-\frac{1}{2},j,k+\frac{1}{2}}^n \right) - \frac{\Delta t}{\varepsilon\Delta y} \left(H_x|_{i,j+\frac{1}{2},k+\frac{1}{2}}^n - H_x|_{i,j-\frac{1}{2},k+\frac{1}{2}}^n \right). \quad (2.40c)$$

In summary, the power coupling behavior between electric and magnetic fields obtained from Maxwell's equations over space and time domain can be described within Yee's cell. By using the central differences for the space derivatives and the leapfrog scheme for the time derivatives, six components ($E_x, E_y, E_z, H_x, H_y, H_z$) of both fields at the specific spatial and the temporal grid can be utilized to evaluate the components at the next grid. In this dissertation, the FDTD solver provided by Lumerical [95] is utilized for efficient analysis as well as the visualization of the 3-D electric and magnetic fields.

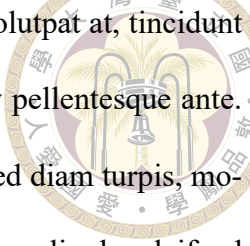




Chapter 3 Thermally bi-directionally tunable (TBDT) AWG

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Ut purus elit, vestibulum ut, placerat ac, adipiscing vitae, felis. Curabitur dictum gravida mauris. Nam arcu libero, nonummy eget, consectetur id, vulputate a, magna. Donec vehicula augue eu neque. Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Mauris ut leo. Cras viverra metus rhoncus sem. Nulla et lectus vestibulum urna fringilla ultrices. Phasellus eu tellus sit amet tortor gravida placerat. Integer sapien est, iaculis in, pretium quis, viverra ac, nunc. Praesent eget sem vel leo ultrices bibendum. Aenean faucibus. Morbi dolor nulla, malesuada eu, pulvinar at, mollis ac, nulla. Curabitur auctor semper nulla. Donec varius orci eget risus. Duis nibh mi, congue eu, accumsan eleifend, sagittis quis, diam. Duis eget orci sit amet orci dignissim rutrum.

Nam dui ligula, fringilla a, euismod sodales, sollicitudin vel, wisi. Morbi auctor lorem non justo. Nam lacus libero, pretium at, lobortis vitae, ultricies et, tellus. Donec aliquet, tortor sed accumsan bibendum, erat ligula aliquet magna, vitae ornare odio metus a mi. Morbi ac orci et nisl hendrerit mollis. Suspendisse ut massa. Cras nec ante. Pellentesque a nulla. Cum sociis natoque penatibus et magnis dis parturient montes, nascetur ridiculus mus. Aliquam tincidunt urna. Nulla ullamcorper vestibulum turpis. Pellentesque cursus luctus mauris.



Nulla malesuada porttitor diam. Donec felis erat, congue non, volutpat at, tincidunt tristique, libero. Vivamus viverra fermentum felis. Donec nonummy pellentesque ante. Phasellus adipiscing semper elit. Proin fermentum massa ac quam. Sed diam turpis, molestie vitae, placerat a, molestie nec, leo. Maecenas lacinia. Nam ipsum ligula, eleifend at, accumsan nec, suscipit a, ipsum. Morbi blandit ligula feugiat magna. Nunc eleifend consequat lorem. Sed lacinia nulla vitae enim. Pellentesque tincidunt purus vel magna. Integer non enim. Praesent euismod nunc eu purus. Donec bibendum quam in tellus. Nullam cursus pulvinar lectus. Donec et mi. Nam vulputate metus eu enim. Vestibulum pellentesque felis eu massa.

Quisque ullamcorper placerat ipsum. Cras nibh. Morbi vel justo vitae lacus tincidunt ultrices. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. In hac habitasse platea dictumst. Integer tempus convallis augue. Etiam facilisis. Nunc elementum fermentum wisi. Aenean placerat. Ut imperdiet, enim sed gravida sollicitudin, felis odio placerat quam, ac pulvinar elit purus eget enim. Nunc vitae tortor. Proin tempus nibh sit amet nisl. Vivamus quis tortor vitae risus porta vehicula.

Fusce mauris. Vestibulum luctus nibh at lectus. Sed bibendum, nulla a faucibus semper, leo velit ultricies tellus, ac venenatis arcu wisi vel nisl. Vestibulum diam. Aliquam pellentesque, augue quis sagittis posuere, turpis lacus congue quam, in hendrerit risus eros eget felis. Maecenas eget erat in sapien mattis porttitor. Vestibulum porttitor. Nulla facilisi. Sed a turpis eu lacus commodo facilisis. Morbi fringilla, wisi in dignissim interdum, justo lectus sagittis dui, et vehicula libero dui cursus dui. Mauris tempor ligula sed lacus. Duis cursus enim ut augue. Cras ac magna. Cras nulla. Nulla egestas. Curabitur a leo. Quisque egestas wisi eget nunc. Nam feugiat lacus vel est. Curabitur consectetur.

Suspendisse vel felis. Ut lorem lorem, interdum eu, tincidunt sit amet, laoreet vitae,

arcu. Aenean faucibus pede eu ante. Praesent enim elit, rutrum at, molestie non, nonummy vel, nisl. Ut lectus eros, malesuada sit amet, fermentum eu, sodales cursus, magna. Donec eu purus. Quisque vehicula, urna sed ultricies auctor, pede lorem egestas dui, et convallis elit erat sed nulla. Donec luctus. Curabitur et nunc. Aliquam dolor odio, commodo pretium, ultricies non, pharetra in, velit. Integer arcu est, nonummy in, fermentum faucibus, egestas vel, odio.

Sed commodo posuere pede. Mauris ut est. Ut quis purus. Sed ac odio. Sed vehicula hendrerit sem. Duis non odio. Morbi ut dui. Sed accumsan risus eget odio. In hac habitasse platea dictumst. Pellentesque non elit. Fusce sed justo eu urna porta tincidunt. Mauris felis odio, sollicitudin sed, volutpat a, ornare ac, erat. Morbi quis dolor. Donec pellentesque, erat ac sagittis semper, nunc dui lobortis purus, quis congue purus metus ultricies tellus. Proin et quam. Class aptent taciti sociosqu ad litora torquent per conubia nostra, per inceptos hymenaeos. Praesent sapien turpis, fermentum vel, eleifend faucibus, vehicula eu, lacus.

3.1 Simulation for passive design

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Ut purus elit, vestibulum ut, placerat ac, adipiscing vitae, felis. Curabitur dictum gravida mauris. Nam arcu libero, nonummy eget, consectetur id, vulputate a, magna. Donec vehicula augue eu neque. Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Mauris ut leo. Cras viverra metus rhoncus sem. Nulla et lectus vestibulum urna fringilla ultrices. Phasellus eu tellus sit amet tortor gravida placerat. Integer sapien est, iaculis in, pretium quis, viverra ac, nunc. Praesent eget sem vel leo ultrices bibendum. Aenean faucibus. Morbi dolor nulla, malesuada eu, pulvinar at, mollis ac, nulla. Curabitur auctor

semper nulla. Donec varius orci eget risus. Duis nibh mi, congue eu, accumsan eleifend, sagittis quis, diam. Duis eget orci sit amet orci dignissim rutrum.

Nam dui ligula, fringilla a, euismod sodales, sollicitudin vel, wisi. Morbi auctor lorem non justo. Nam lacus libero, pretium at, lobortis vitae, ultricies et, tellus. Donec aliquet, tortor sed accumsan bibendum, erat ligula aliquet magna, vitae ornare odio metus a mi. Morbi ac orci et nisl hendrerit mollis. Suspendisse ut massa. Cras nec ante. Pellentesque a nulla. Cum sociis natoque penatibus et magnis dis parturient montes, nascetur ridiculus mus. Aliquam tincidunt urna. Nulla ullamcorper vestibulum turpis. Pellentesque cursus luctus mauris.

Nulla malesuada porttitor diam. Donec felis erat, congue non, volutpat at, tincidunt tristique, libero. Vivamus viverra fermentum felis. Donec nonummy pellentesque ante. Phasellus adipiscing semper elit. Proin fermentum massa ac quam. Sed diam turpis, molestie vitae, placerat a, molestie nec, leo. Maecenas lacinia. Nam ipsum ligula, eleifend at, accumsan nec, suscipit a, ipsum. Morbi blandit ligula feugiat magna. Nunc eleifend consequat lorem. Sed lacinia nulla vitae enim. Pellentesque tincidunt purus vel magna. Integer non enim. Praesent euismod nunc eu purus. Donec bibendum quam in tellus. Nullam cursus pulvinar lectus. Donec et mi. Nam vulputate metus eu enim. Vestibulum pellentesque felis eu massa.

Quisque ullamcorper placerat ipsum. Cras nibh. Morbi vel justo vitae lacus tincidunt ultrices. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. In hac habitasse platea dictumst. Integer tempus convallis augue. Etiam facilisis. Nunc elementum fermentum wisi. Aenean placerat. Ut imperdiet, enim sed gravida sollicitudin, felis odio placerat quam, ac pulvinar elit purus eget enim. Nunc vitae tortor. Proin tempus nibh sit amet nisl. Vivamus quis tortor vitae risus porta vehicula.



Fusce mauris. Vestibulum luctus nibh at lectus. Sed bibendum, nulla a faucibus semper, leo velit ultricies tellus, ac venenatis arcu wisi vel nisl. Vestibulum diam. Aliquam pellentesque, augue quis sagittis posuere, turpis lacus congue quam, in hendrerit risus eros eget felis. Maecenas eget erat in sapien mattis porttitor. Vestibulum porttitor. Nulla facilis. Sed a turpis eu lacus commodo facilisis. Morbi fringilla, wisi in dignissim interdum, justo lectus sagittis dui, et vehicula libero dui cursus dui. Mauris tempor ligula sed lacus. Duis cursus enim ut augue. Cras ac magna. Cras nulla. Nulla egestas. Curabitur a leo. Quisque egestas wisi eget nunc. Nam feugiat lacus vel est. Curabitur consectetur.

Suspendisse vel felis. Ut lorem lorem, interdum eu, tincidunt sit amet, laoreet vitae, arcu. Aenean faucibus pede eu ante. Praesent enim elit, rutrum at, molestie non, nonummy vel, nisl. Ut lectus eros, malesuada sit amet, fermentum eu, sodales cursus, magna. Donec eu purus. Quisque vehicula, urna sed ultricies auctor, pede lorem egestas dui, et convallis elit erat sed nulla. Donec luctus. Curabitur et nunc. Aliquam dolor odio, commodo pretium, ultricies non, pharetra in, velit. Integer arcu est, nonummy in, fermentum faucibus, egestas vel, odio.

Sed commodo posuere pede. Mauris ut est. Ut quis purus. Sed ac odio. Sed vehicula hendrerit sem. Duis non odio. Morbi ut dui. Sed accumsan risus eget odio. In hac habitasse platea dictumst. Pellentesque non elit. Fusce sed justo eu urna porta tincidunt. Mauris felis odio, sollicitudin sed, volutpat a, ornare ac, erat. Morbi quis dolor. Donec pellentesque, erat ac sagittis semper, nunc dui lobortis purus, quis congue purus metus ultricies tellus. Proin et quam. Class aptent taciti sociosqu ad litora torquent per conubia nostra, per inceptos hymenaeos. Praesent sapien turpis, fermentum vel, eleifend faucibus, vehicula eu, lacus.

3.2 Simulation for active design

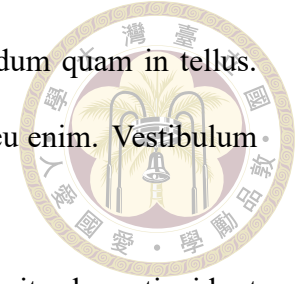


Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Ut purus elit, vestibulum ut, placerat ac, adipiscing vitae, felis. Curabitur dictum gravida mauris. Nam arcu libero, nonummy eget, consectetur id, vulputate a, magna. Donec vehicula augue eu neque. Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Mauris ut leo. Cras viverra metus rhoncus sem. Nulla et lectus vestibulum urna fringilla ultrices. Phasellus eu tellus sit amet tortor gravida placerat. Integer sapien est, iaculis in, pretium quis, viverra ac, nunc. Praesent eget sem vel leo ultrices bibendum. Aenean faucibus. Morbi dolor nulla, malesuada eu, pulvinar at, mollis ac, nulla. Curabitur auctor semper nulla. Donec varius orci eget risus. Duis nibh mi, congue eu, accumsan eleifend, sagittis quis, diam. Duis eget orci sit amet orci dignissim rutrum.

Nam dui ligula, fringilla a, euismod sodales, sollicitudin vel, wisi. Morbi auctor lorem non justo. Nam lacus libero, pretium at, lobortis vitae, ultricies et, tellus. Donec aliquet, tortor sed accumsan bibendum, erat ligula aliquet magna, vitae ornare odio metus a mi. Morbi ac orci et nisl hendrerit mollis. Suspendisse ut massa. Cras nec ante. Pellentesque a nulla. Cum sociis natoque penatibus et magnis dis parturient montes, nascetur ridiculus mus. Aliquam tincidunt urna. Nulla ullamcorper vestibulum turpis. Pellentesque cursus luctus mauris.

Nulla malesuada porttitor diam. Donec felis erat, congue non, volutpat at, tincidunt tristique, libero. Vivamus viverra fermentum felis. Donec nonummy pellentesque ante. Phasellus adipiscing semper elit. Proin fermentum massa ac quam. Sed diam turpis, molestie vitae, placerat a, molestie nec, leo. Maecenas lacinia. Nam ipsum ligula, eleifend at, accumsan nec, suscipit a, ipsum. Morbi blandit ligula feugiat magna. Nunc eleifend consequat lorem. Sed lacinia nulla vitae enim. Pellentesque tincidunt purus vel magna.

Integer non enim. Praesent euismod nunc eu purus. Donec bibendum quam in tellus. Nullam cursus pulvinar lectus. Donec et mi. Nam vulputate metus eu enim. Vestibulum pellentesque felis eu massa.



Quisque ullamcorper placerat ipsum. Cras nibh. Morbi vel justo vitae lacus tincidunt ultrices. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. In hac habitasse platea dictumst. Integer tempus convallis augue. Etiam facilisis. Nunc elementum fermentum wisi. Aenean placerat. Ut imperdiet, enim sed gravida sollicitudin, felis odio placerat quam, ac pulvinar elit purus eget enim. Nunc vitae tortor. Proin tempus nibh sit amet nisl. Vivamus quis tortor vitae risus porta vehicula.

Fusce mauris. Vestibulum luctus nibh at lectus. Sed bibendum, nulla a faucibus semper, leo velit ultricies tellus, ac venenatis arcu wisi vel nisl. Vestibulum diam. Aliquam pellentesque, augue quis sagittis posuere, turpis lacus congue quam, in hendrerit risus eros eget felis. Maecenas eget erat in sapien mattis porttitor. Vestibulum porttitor. Nulla facilisi. Sed a turpis eu lacus commodo facilisis. Morbi fringilla, wisi in dignissim interdum, justo lectus sagittis dui, et vehicula libero dui cursus dui. Mauris tempor ligula sed lacus. Duis cursus enim ut augue. Cras ac magna. Cras nulla. Nulla egestas. Curabitur a leo. Quisque egestas wisi eget nunc. Nam feugiat lacus vel est. Curabitur consectetur.

Suspendisse vel felis. Ut lorem lorem, interdum eu, tincidunt sit amet, laoreet vitae, arcu. Aenean faucibus pede eu ante. Praesent enim elit, rutrum at, molestie non, nonummy vel, nisl. Ut lectus eros, malesuada sit amet, fermentum eu, sodales cursus, magna. Donec eu purus. Quisque vehicula, urna sed ultricies auctor, pede lorem egestas dui, et convallis elit erat sed nulla. Donec luctus. Curabitur et nunc. Aliquam dolor odio, commodo pretium, ultricies non, pharetra in, velit. Integer arcu est, nonummy in, fermentum faucibus, egestas vel, odio.

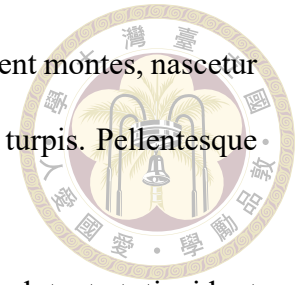
Sed commodo posuere pede. Mauris ut est. Ut quis purus. Sed ac odio. Sed vehicula hendrerit sem. Duis non odio. Morbi ut dui. Sed accumsan risus eget odio. In hac habitasse platea dictumst. Pellentesque non elit. Fusce sed justo eu urna porta tincidunt. Mauris felis odio, sollicitudin sed, volutpat a, ornare ac, erat. Morbi quis dolor. Donec pellentesque, erat ac sagittis semper, nunc dui lobortis purus, quis congue purus metus ultricies tellus. Proin et quam. Class aptent taciti sociosqu ad litora torquent per conubia nostra, per inceptos hymenaeos. Praesent sapien turpis, fermentum vel, eleifend faucibus, vehicula eu, lacus.

3.3 Measurement results

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Ut purus elit, vestibulum ut, placerat ac, adipiscing vitae, felis. Curabitur dictum gravida mauris. Nam arcu libero, nonummy eget, consectetur id, vulputate a, magna. Donec vehicula augue eu neque. Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Mauris ut leo. Cras viverra metus rhoncus sem. Nulla et lectus vestibulum urna fringilla ultrices. Phasellus eu tellus sit amet tortor gravida placerat. Integer sapien est, iaculis in, pretium quis, viverra ac, nunc. Praesent eget sem vel leo ultrices bibendum. Aenean faucibus. Morbi dolor nulla, malesuada eu, pulvinar at, mollis ac, nulla. Curabitur auctor semper nulla. Donec varius orci eget risus. Duis nibh mi, congue eu, accumsan eleifend, sagittis quis, diam. Duis eget orci sit amet orci dignissim rutrum.

Nam dui ligula, fringilla a, euismod sodales, sollicitudin vel, wisi. Morbi auctor lorem non justo. Nam lacus libero, pretium at, lobortis vitae, ultricies et, tellus. Donec aliquet, tortor sed accumsan bibendum, erat ligula aliquet magna, vitae ornare odio metus a mi. Morbi ac orci et nisl hendrerit mollis. Suspendisse ut massa. Cras nec ante. Pel-

lentesque a nulla. Cum sociis natoque penatibus et magnis dis parturient montes, nascetur ridiculus mus. Aliquam tincidunt urna. Nulla ullamcorper vestibulum turpis. Pellentesque cursus luctus mauris.



Nulla malesuada porttitor diam. Donec felis erat, congue non, volutpat at, tincidunt tristique, libero. Vivamus viverra fermentum felis. Donec nonummy pellentesque ante. Phasellus adipiscing semper elit. Proin fermentum massa ac quam. Sed diam turpis, molestie vitae, placerat a, molestie nec, leo. Maecenas lacinia. Nam ipsum ligula, eleifend at, accumsan nec, suscipit a, ipsum. Morbi blandit ligula feugiat magna. Nunc eleifend consequat lorem. Sed lacinia nulla vitae enim. Pellentesque tincidunt purus vel magna. Integer non enim. Praesent euismod nunc eu purus. Donec bibendum quam in tellus. Nullam cursus pulvinar lectus. Donec et mi. Nam vulputate metus eu enim. Vestibulum pellentesque felis eu massa.

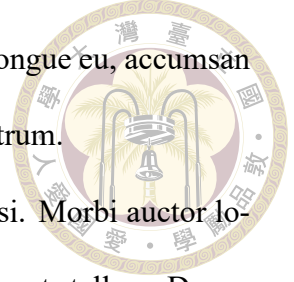
Quisque ullamcorper placerat ipsum. Cras nibh. Morbi vel justo vitae lacus tincidunt ultrices. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. In hac habitasse platea dictumst. Integer tempus convallis augue. Etiam facilisis. Nunc elementum fermentum wisi. Aenean placerat. Ut imperdiet, enim sed gravida sollicitudin, felis odio placerat quam, ac pulvinar elit purus eget enim. Nunc vitae tortor. Proin tempus nibh sit amet nisl. Vivamus quis tortor vitae risus porta vehicula.

Fusce mauris. Vestibulum luctus nibh at lectus. Sed bibendum, nulla a faucibus semper, leo velit ultricies tellus, ac venenatis arcu wisi vel nisl. Vestibulum diam. Aliquam pellentesque, augue quis sagittis posuere, turpis lacus congue quam, in hendrerit risus eros eget felis. Maecenas eget erat in sapien mattis porttitor. Vestibulum porttitor. Nulla facilisi. Sed a turpis eu lacus commodo facilisis. Morbi fringilla, wisi in dignissim interdum, justo lectus sagittis dui, et vehicula libero dui cursus dui. Mauris tempor ligula sed lacus.

Duis cursus enim ut augue. Cras ac magna. Cras nulla. Nulla egestas. Curabitur a leo. Quisque egestas wisi eget nunc. Nam feugiat lacus vel est. Curabitur consectetur.

Suspendisse vel felis. Ut lorem lorem, interdum eu, tincidunt sit amet, laoreet vitae, arcu. Aenean faucibus pede eu ante. Praesent enim elit, rutrum at, molestie non, nonummy vel, nisl. Ut lectus eros, malesuada sit amet, fermentum eu, sodales cursus, magna. Donec eu purus. Quisque vehicula, urna sed ultricies auctor, pede lorem egestas dui, et convallis elit erat sed nulla. Donec luctus. Curabitur et nunc. Aliquam dolor odio, commodo pretium, ultricies non, pharetra in, velit. Integer arcu est, nonummy in, fermentum faucibus, egestas vel, odio.

Sed commodo posuere pede. Mauris ut est. Ut quis purus. Sed ac odio. Sed vehicula hendrerit sem. Duis non odio. Morbi ut dui. Sed accumsan risus eget odio. In hac habitasse platea dictumst. Pellentesque non elit. Fusce sed justo eu urna porta tincidunt. Mauris felis odio, sollicitudin sed, volutpat a, ornare ac, erat. Morbi quis dolor. Donec pellentesque, erat ac sagittis semper, nunc dui lobortis purus, quis congue purus metus ultricies tellus. Proin et quam. Class aptent taciti sociosqu ad litora torquent per conubia nostra, per inceptos hymenaeos. Praesent sapien turpis, fermentum vel, eleifend faucibus, vehicula eu, lacus. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Ut purus elit, vestibulum ut, placerat ac, adipiscing vitae, felis. Curabitur dictum gravida mauris. Nam arcu libero, nonummy eget, consectetur id, vulputate a, magna. Donec vehicula augue eu neque. Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Mauris ut leo. Cras viverra metus rhoncus sem. Nulla et lectus vestibulum urna fringilla ultrices. Phasellus eu tellus sit amet tortor gravida placerat. Integer sapien est, iaculis in, pretium quis, viverra ac, nunc. Praesent eget sem vel leo ultrices bibendum. Aenean faucibus. Morbi dolor nulla, malesuada eu, pulvinar at, mollis ac, nulla. Curabi-



tur auctor semper nulla. Donec varius orci eget risus. Duis nibh mi, congue eu, accumsan eleifend, sagittis quis, diam. Duis eget orci sit amet orci dignissim rutrum.

Nam dui ligula, fringilla a, euismod sodales, sollicitudin vel, wisi. Morbi auctor lorem non justo. Nam lacus libero, pretium at, lobortis vitae, ultricies et, tellus. Donec aliquet, tortor sed accumsan bibendum, erat ligula aliquet magna, vitae ornare odio metus a mi. Morbi ac orci et nisl hendrerit mollis. Suspendisse ut massa. Cras nec ante. Pellentesque a nulla. Cum sociis natoque penatibus et magnis dis parturient montes, nascetur ridiculus mus. Aliquam tincidunt urna. Nulla ullamcorper vestibulum turpis. Pellentesque cursus luctus mauris.

Nulla malesuada porttitor diam. Donec felis erat, congue non, volutpat at, tincidunt tristique, libero. Vivamus viverra fermentum felis. Donec nonummy pellentesque ante. Phasellus adipiscing semper elit. Proin fermentum massa ac quam. Sed diam turpis, molestie vitae, placerat a, molestie nec, leo. Maecenas lacinia. Nam ipsum ligula, eleifend at, accumsan nec, suscipit a, ipsum. Morbi blandit ligula feugiat magna. Nunc eleifend consequat lorem. Sed lacinia nulla vitae enim. Pellentesque tincidunt purus vel magna.

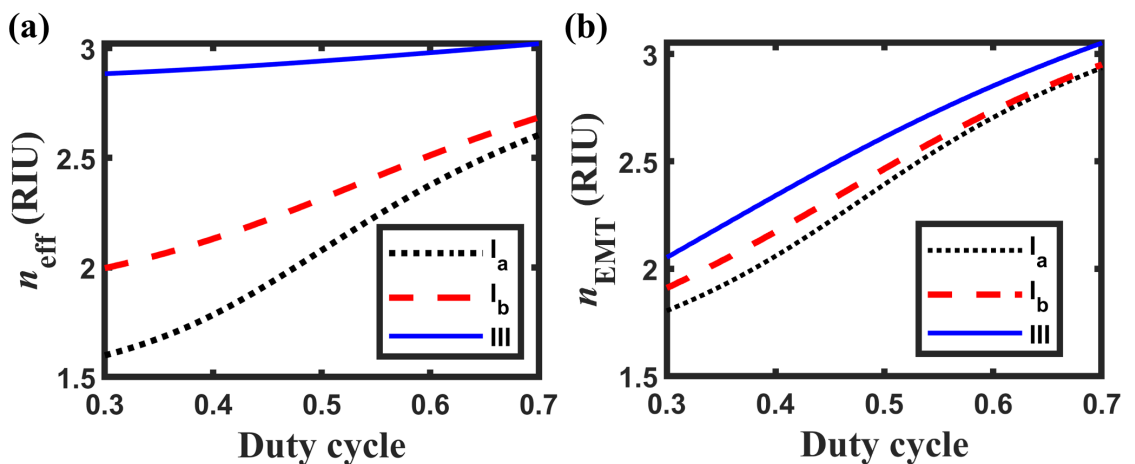
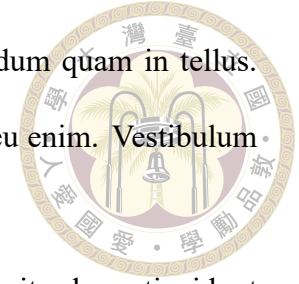


Figure 3.1: Effective index differences (left y axis) of adjacent AWs and wavelength shifts (right y axis) of filtering response in terms of electrical voltages at four output Channels 1.27, 1.29, 1.31, and 1.33 μm for (a–d) red-shift tuning and (e–h) blue-shift tuning, where the solid line and squared red marker represent the simulated results from Fig. ?? and the measured data from Fig. ??, respectively.

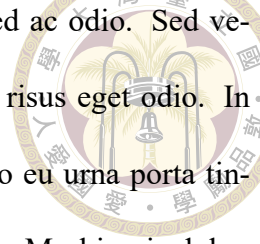
Integer non enim. Praesent euismod nunc eu purus. Donec bibendum quam in tellus. Nullam cursus pulvinar lectus. Donec et mi. Nam vulputate metus eu enim. Vestibulum pellentesque felis eu massa.



Quisque ullamcorper placerat ipsum. Cras nibh. Morbi vel justo vitae lacus tincidunt ultrices. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. In hac habitasse platea dictumst. Integer tempus convallis augue. Etiam facilisis. Nunc elementum fermentum wisi. Aenean placerat. Ut imperdiet, enim sed gravida sollicitudin, felis odio placerat quam, ac pulvinar elit purus eget enim. Nunc vitae tortor. Proin tempus nibh sit amet nisl. Vivamus quis tortor vitae risus porta vehicula.

Fusce mauris. Vestibulum luctus nibh at lectus. Sed bibendum, nulla a faucibus semper, leo velit ultricies tellus, ac venenatis arcu wisi vel nisl. Vestibulum diam. Aliquam pellentesque, augue quis sagittis posuere, turpis lacus congue quam, in hendrerit risus eros eget felis. Maecenas eget erat in sapien mattis porttitor. Vestibulum porttitor. Nulla facilisi. Sed a turpis eu lacus commodo facilisis. Morbi fringilla, wisi in dignissim interdum, justo lectus sagittis dui, et vehicula libero dui cursus dui. Mauris tempor ligula sed lacus. Duis cursus enim ut augue. Cras ac magna. Cras nulla. Nulla egestas. Curabitur a leo. Quisque egestas wisi eget nunc. Nam feugiat lacus vel est. Curabitur consectetur.

Suspendisse vel felis. Ut lorem lorem, interdum eu, tincidunt sit amet, laoreet vitae, arcu. Aenean faucibus pede eu ante. Praesent enim elit, rutrum at, molestie non, nonummy vel, nisl. Ut lectus eros, malesuada sit amet, fermentum eu, sodales cursus, magna. Donec eu purus. Quisque vehicula, urna sed ultricies auctor, pede lorem egestas dui, et convallis elit erat sed nulla. Donec luctus. Curabitur et nunc. Aliquam dolor odio, commodo pretium, ultricies non, pharetra in, velit. Integer arcu est, nonummy in, fermentum faucibus, egestas vel, odio.



Sed commodo posuere pede. Mauris ut est. Ut quis purus. Sed ac odio. Sed vehicula hendrerit sem. Duis non odio. Morbi ut dui. Sed accumsan risus eget odio. In hac habitasse platea dictumst. Pellentesque non elit. Fusce sed justo eu urna porta tincidunt. Mauris felis odio, sollicitudin sed, volutpat a, ornare ac, erat. Morbi quis dolor. Donec pellentesque, erat ac sagittis semper, nunc dui lobortis purus, quis congue purus metus ultricies tellus. Proin et quam. Class aptent taciti sociosqu ad litora torquent per conubia nostra, per inceptos hymenaeos. Praesent sapien turpis, fermentum vel, eleifend faucibus, vehicula eu, lacus. an index change Δn_{eff} of ± 0.0114 and a shift $\Delta\lambda$ of ± 8 nm are obtained from the measured results, indicating a linear bi-directional shift-to-power ratio of ± 30.5 nm/W with a wide tuning range of 8 nm. The difference of absolute values of linear ratios between simulation (36.07 nm/W) and measurement (30.5 nm/W) might come from the power loss in the electrical metal traces or from a deviated thickness and/or sheet resistance of the fabricated heating wire. A performance comparison is given in Table 3.1, showing a better thermal-tuning efficiency with bi-directional tuning functions for the proposed device.

Table 3.1: Thermal-tuning performance comparison of thermally tunable AWGs in the literature.

Literature	Tuning efficiency	Tuning direction	Applied voltage	Tuning range	Platform	TO coefficient
2020 [83]	6.4 nm/W	Red	40 V for 2.3-nm shift	2.5 nm	Silicon	$1.68 \cdot 10^{-4}$ /K
2015 [84]	~ 3.97 nm/W	Red	40 V for 5-nm shift	5 nm	Silicon; SiO ₂	$1.84 \cdot 10^{-4}$ /K; $1 \cdot 10^{-5}$ /K
1999 [88]	–	Blue	–	9 nm	Polymer	$-1.6 \cdot 10^{-4}$ /K
2006 [89]	–	Blue	–	6.6 nm	Polymer/Si	$-1.16 \cdot 10^{-4}$ /K
1999 [90]	± 2 nm/W	Bi-directional	–	6 nm	SiO ₂ –Si	positive
Proposed Device	± 30.5 nm/W	Bi-directional	2.5 V for ± 8-nm shift	≥ 8 nm	Silicon	$1.68 \cdot 10^{-4}$ /K

3.4 Discussion

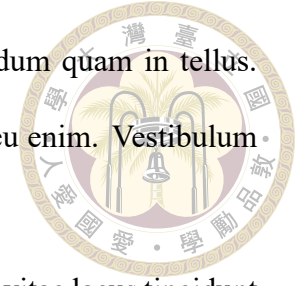


Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Ut purus elit, vestibulum ut, placerat ac, adipiscing vitae, felis. Curabitur dictum gravida mauris. Nam arcu libero, nonummy eget, consectetur id, vulputate a, magna. Donec vehicula augue eu neque. Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Mauris ut leo. Cras viverra metus rhoncus sem. Nulla et lectus vestibulum urna fringilla ultrices. Phasellus eu tellus sit amet tortor gravida placerat. Integer sapien est, iaculis in, pretium quis, viverra ac, nunc. Praesent eget sem vel leo ultrices bibendum. Aenean faucibus. Morbi dolor nulla, malesuada eu, pulvinar at, mollis ac, nulla. Curabitur auctor semper nulla. Donec varius orci eget risus. Duis nibh mi, congue eu, accumsan eleifend, sagittis quis, diam. Duis eget orci sit amet orci dignissim rutrum.

Nam dui ligula, fringilla a, euismod sodales, sollicitudin vel, wisi. Morbi auctor lorem non justo. Nam lacus libero, pretium at, lobortis vitae, ultricies et, tellus. Donec aliquet, tortor sed accumsan bibendum, erat ligula aliquet magna, vitae ornare odio metus a mi. Morbi ac orci et nisl hendrerit mollis. Suspendisse ut massa. Cras nec ante. Pellentesque a nulla. Cum sociis natoque penatibus et magnis dis parturient montes, nascetur ridiculus mus. Aliquam tincidunt urna. Nulla ullamcorper vestibulum turpis. Pellentesque cursus luctus mauris.

Nulla malesuada porttitor diam. Donec felis erat, congue non, volutpat at, tincidunt tristique, libero. Vivamus viverra fermentum felis. Donec nonummy pellentesque ante. Phasellus adipiscing semper elit. Proin fermentum massa ac quam. Sed diam turpis, molestie vitae, placerat a, molestie nec, leo. Maecenas lacinia. Nam ipsum ligula, eleifend at, accumsan nec, suscipit a, ipsum. Morbi blandit ligula feugiat magna. Nunc eleifend consequat lorem. Sed lacinia nulla vitae enim. Pellentesque tincidunt purus vel magna.

Integer non enim. Praesent euismod nunc eu purus. Donec bibendum quam in tellus. Nullam cursus pulvinar lectus. Donec et mi. Nam vulputate metus eu enim. Vestibulum pellentesque felis eu massa.



Quisque ullamcorper placerat ipsum. Cras nibh. Morbi vel justo vitae lacus tincidunt ultrices. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. In hac habitasse platea dictumst. Integer tempus convallis augue. Etiam facilisis. Nunc elementum fermentum wisi. Aenean placerat. Ut imperdiet, enim sed gravida sollicitudin, felis odio placerat quam, ac pulvinar elit purus eget enim. Nunc vitae tortor. Proin tempus nibh sit amet nisl. Vivamus quis tortor vitae risus porta vehicula.

Fusce mauris. Vestibulum luctus nibh at lectus. Sed bibendum, nulla a faucibus semper, leo velit ultricies tellus, ac venenatis arcu wisi vel nisl. Vestibulum diam. Aliquam pellentesque, augue quis sagittis posuere, turpis lacus congue quam, in hendrerit risus eros eget felis. Maecenas eget erat in sapien mattis porttitor. Vestibulum porttitor. Nulla facilisi. Sed a turpis eu lacus commodo facilisis. Morbi fringilla, wisi in dignissim interdum, justo lectus sagittis dui, et vehicula libero dui cursus dui. Mauris tempor ligula sed lacus. Duis cursus enim ut augue. Cras ac magna. Cras nulla. Nulla egestas. Curabitur a leo. Quisque egestas wisi eget nunc. Nam feugiat lacus vel est. Curabitur consectetur.

Suspendisse vel felis. Ut lorem lorem, interdum eu, tincidunt sit amet, laoreet vitae, arcu. Aenean faucibus pede eu ante. Praesent enim elit, rutrum at, molestie non, nonummy vel, nisl. Ut lectus eros, malesuada sit amet, fermentum eu, sodales cursus, magna. Donec eu purus. Quisque vehicula, urna sed ultricies auctor, pede lorem egestas dui, et convallis elit erat sed nulla. Donec luctus. Curabitur et nunc. Aliquam dolor odio, commodo pretium, ultricies non, pharetra in, velit. Integer arcu est, nonummy in, fermentum faucibus, egestas vel, odio.

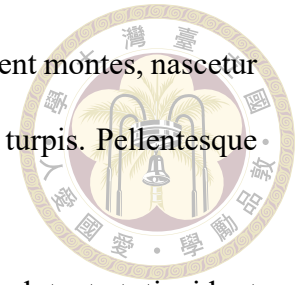
Sed commodo posuere pede. Mauris ut est. Ut quis purus. Sed ac odio. Sed vehicula hendrerit sem. Duis non odio. Morbi ut dui. Sed accumsan risus eget odio. In hac habitasse platea dictumst. Pellentesque non elit. Fusce sed justo eu urna porta tincidunt. Mauris felis odio, sollicitudin sed, volutpat a, ornare ac, erat. Morbi quis dolor. Donec pellentesque, erat ac sagittis semper, nunc dui lobortis purus, quis congue purus metus ultricies tellus. Proin et quam. Class aptent taciti sociosqu ad litora torquent per conubia nostra, per inceptos hymenaeos. Praesent sapien turpis, fermentum vel, eleifend faucibus, vehicula eu, lacus.

3.5 Summary

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Ut purus elit, vestibulum ut, placerat ac, adipiscing vitae, felis. Curabitur dictum gravida mauris. Nam arcu libero, nonummy eget, consectetur id, vulputate a, magna. Donec vehicula augue eu neque. Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Mauris ut leo. Cras viverra metus rhoncus sem. Nulla et lectus vestibulum urna fringilla ultrices. Phasellus eu tellus sit amet tortor gravida placerat. Integer sapien est, iaculis in, pretium quis, viverra ac, nunc. Praesent eget sem vel leo ultrices bibendum. Aenean faucibus. Morbi dolor nulla, malesuada eu, pulvinar at, mollis ac, nulla. Curabitur auctor semper nulla. Donec varius orci eget risus. Duis nibh mi, congue eu, accumsan eleifend, sagittis quis, diam. Duis eget orci sit amet orci dignissim rutrum.

Nam dui ligula, fringilla a, euismod sodales, sollicitudin vel, wisi. Morbi auctor lorem non justo. Nam lacus libero, pretium at, lobortis vitae, ultricies et, tellus. Donec aliquet, tortor sed accumsan bibendum, erat ligula aliquet magna, vitae ornare odio metus a mi. Morbi ac orci et nisl hendrerit mollis. Suspendisse ut massa. Cras nec ante. Pel-

lentesque a nulla. Cum sociis natoque penatibus et magnis dis parturient montes, nascetur ridiculus mus. Aliquam tincidunt urna. Nulla ullamcorper vestibulum turpis. Pellentesque cursus luctus mauris.



Nulla malesuada porttitor diam. Donec felis erat, congue non, volutpat at, tincidunt tristique, libero. Vivamus viverra fermentum felis. Donec nonummy pellentesque ante. Phasellus adipiscing semper elit. Proin fermentum massa ac quam. Sed diam turpis, molestie vitae, placerat a, molestie nec, leo. Maecenas lacinia. Nam ipsum ligula, eleifend at, accumsan nec, suscipit a, ipsum. Morbi blandit ligula feugiat magna. Nunc eleifend consequat lorem. Sed lacinia nulla vitae enim. Pellentesque tincidunt purus vel magna. Integer non enim. Praesent euismod nunc eu purus. Donec bibendum quam in tellus. Nullam cursus pulvinar lectus. Donec et mi. Nam vulputate metus eu enim. Vestibulum pellentesque felis eu massa.

Quisque ullamcorper placerat ipsum. Cras nibh. Morbi vel justo vitae lacus tincidunt ultrices. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. In hac habitasse platea dictumst. Integer tempus convallis augue. Etiam facilisis. Nunc elementum fermentum wisi. Aenean placerat. Ut imperdiet, enim sed gravida sollicitudin, felis odio placerat quam, ac pulvinar elit purus eget enim. Nunc vitae tortor. Proin tempus nibh sit amet nisl. Vivamus quis tortor vitae risus porta vehicula.

Fusce mauris. Vestibulum luctus nibh at lectus. Sed bibendum, nulla a faucibus semper, leo velit ultricies tellus, ac venenatis arcu wisi vel nisl. Vestibulum diam. Aliquam pellentesque, augue quis sagittis posuere, turpis lacus congue quam, in hendrerit risus eros eget felis. Maecenas eget erat in sapien mattis porttitor. Vestibulum porttitor. Nulla facilisi. Sed a turpis eu lacus commodo facilisis. Morbi fringilla, wisi in dignissim interdum, justo lectus sagittis dui, et vehicula libero dui cursus dui. Mauris tempor ligula sed lacus.

Duis cursus enim ut augue. Cras ac magna. Cras nulla. Nulla egestas. Curabitur a leo. Quisque egestas wisi eget nunc. Nam feugiat lacus vel est. Curabitur consectetur.

Suspendisse vel felis. Ut lorem lorem, interdum eu, tincidunt sit amet, laoreet vitae, arcu. Aenean faucibus pede eu ante. Praesent enim elit, rutrum at, molestie non, nonummy vel, nisl. Ut lectus eros, malesuada sit amet, fermentum eu, sodales cursus, magna. Donec eu purus. Quisque vehicula, urna sed ultricies auctor, pede lorem egestas dui, et convallis elit erat sed nulla. Donec luctus. Curabitur et nunc. Aliquam dolor odio, commodo pretium, ultricies non, pharetra in, velit. Integer arcu est, nonummy in, fermentum faucibus, egestas vel, odio.

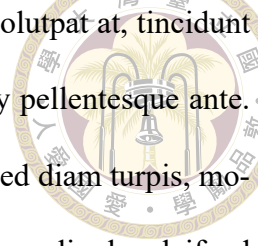
Sed commodo posuere pede. Mauris ut est. Ut quis purus. Sed ac odio. Sed vehicula hendrerit sem. Duis non odio. Morbi ut dui. Sed accumsan risus eget odio. In hac habitasse platea dictumst. Pellentesque non elit. Fusce sed justo eu urna porta tincidunt. Mauris felis odio, sollicitudin sed, volutpat a, ornare ac, erat. Morbi quis dolor. Donec pellentesque, erat ac sagittis semper, nunc dui lobortis purus, quis congue purus metus ultricies tellus. Proin et quam. Class aptent taciti sociosqu ad litora torquent per conubia nostra, per inceptos hymenaeos. Praesent sapien turpis, fermentum vel, eleifend faucibus, vehicula eu, lacus.



Chapter 4 Bragg grating-assisted WDM filter

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Ut purus elit, vestibulum ut, placerat ac, adipiscing vitae, felis. Curabitur dictum gravida mauris. Nam arcu libero, nonummy eget, consectetur id, vulputate a, magna. Donec vehicula augue eu neque. Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Mauris ut leo. Cras viverra metus rhoncus sem. Nulla et lectus vestibulum urna fringilla ultrices. Phasellus eu tellus sit amet tortor gravida placerat. Integer sapien est, iaculis in, pretium quis, viverra ac, nunc. Praesent eget sem vel leo ultrices bibendum. Aenean faucibus. Morbi dolor nulla, malesuada eu, pulvinar at, mollis ac, nulla. Curabitur auctor semper nulla. Donec varius orci eget risus. Duis nibh mi, congue eu, accumsan eleifend, sagittis quis, diam. Duis eget orci sit amet orci dignissim rutrum.

Nam dui ligula, fringilla a, euismod sodales, sollicitudin vel, wisi. Morbi auctor lorem non justo. Nam lacus libero, pretium at, lobortis vitae, ultricies et, tellus. Donec aliquet, tortor sed accumsan bibendum, erat ligula aliquet magna, vitae ornare odio metus a mi. Morbi ac orci et nisl hendrerit mollis. Suspendisse ut massa. Cras nec ante. Pellentesque a nulla. Cum sociis natoque penatibus et magnis dis parturient montes, nascetur ridiculus mus. Aliquam tincidunt urna. Nulla ullamcorper vestibulum turpis. Pellentesque cursus luctus mauris.



Nulla malesuada porttitor diam. Donec felis erat, congue non, volutpat at, tincidunt tristique, libero. Vivamus viverra fermentum felis. Donec nonummy pellentesque ante. Phasellus adipiscing semper elit. Proin fermentum massa ac quam. Sed diam turpis, molestie vitae, placerat a, molestie nec, leo. Maecenas lacinia. Nam ipsum ligula, eleifend at, accumsan nec, suscipit a, ipsum. Morbi blandit ligula feugiat magna. Nunc eleifend consequat lorem. Sed lacinia nulla vitae enim. Pellentesque tincidunt purus vel magna. Integer non enim. Praesent euismod nunc eu purus. Donec bibendum quam in tellus. Nullam cursus pulvinar lectus. Donec et mi. Nam vulputate metus eu enim. Vestibulum pellentesque felis eu massa.

Quisque ullamcorper placerat ipsum. Cras nibh. Morbi vel justo vitae lacus tincidunt ultrices. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. In hac habitasse platea dictumst. Integer tempus convallis augue. Etiam facilisis. Nunc elementum fermentum wisi. Aenean placerat. Ut imperdiet, enim sed gravida sollicitudin, felis odio placerat quam, ac pulvinar elit purus eget enim. Nunc vitae tortor. Proin tempus nibh sit amet nisl. Vivamus quis tortor vitae risus porta vehicula.

Fusce mauris. Vestibulum luctus nibh at lectus. Sed bibendum, nulla a faucibus semper, leo velit ultricies tellus, ac venenatis arcu wisi vel nisl. Vestibulum diam. Aliquam pellentesque, augue quis sagittis posuere, turpis lacus congue quam, in hendrerit risus eros eget felis. Maecenas eget erat in sapien mattis porttitor. Vestibulum porttitor. Nulla facilisi. Sed a turpis eu lacus commodo facilisis. Morbi fringilla, wisi in dignissim interdum, justo lectus sagittis dui, et vehicula libero dui cursus dui. Mauris tempor ligula sed lacus. Duis cursus enim ut augue. Cras ac magna. Cras nulla. Nulla egestas. Curabitur a leo. Quisque egestas wisi eget nunc. Nam feugiat lacus vel est. Curabitur consectetur.

Suspendisse vel felis. Ut lorem lorem, interdum eu, tincidunt sit amet, laoreet vitae,

arcu. Aenean faucibus pede eu ante. Praesent enim elit, rutrum at, molestie non, nonummy vel, nisl. Ut lectus eros, malesuada sit amet, fermentum eu, sodales cursus, magna. Donec eu purus. Quisque vehicula, urna sed ultricies auctor, pede lorem egestas dui, et convallis elit erat sed nulla. Donec luctus. Curabitur et nunc. Aliquam dolor odio, commodo pretium, ultricies non, pharetra in, velit. Integer arcu est, nonummy in, fermentum faucibus, egestas vel, odio.

Sed commodo posuere pede. Mauris ut est. Ut quis purus. Sed ac odio. Sed vehicula hendrerit sem. Duis non odio. Morbi ut dui. Sed accumsan risus eget odio. In hac habitasse platea dictumst. Pellentesque non elit. Fusce sed justo eu urna porta tincidunt. Mauris felis odio, sollicitudin sed, volutpat a, ornare ac, erat. Morbi quis dolor. Donec pellentesque, erat ac sagittis semper, nunc dui lobortis purus, quis congue purus metus ultricies tellus. Proin et quam. Class aptent taciti sociosqu ad litora torquent per conubia nostra, per inceptos hymenaeos. Praesent sapien turpis, fermentum vel, eleifend faucibus, vehicula eu, lacus.[10, 34–38, 40–61, 96]. To broaden the available channel bandwidth (ABW) under the desired low crosstalk (XT) to further improve the communication system, flattened filtering responses are required.

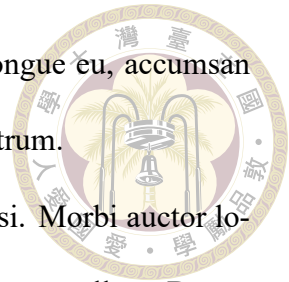
In this chapter, Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Ut purus elit, vestibulum ut, placerat ac, adipiscing vitae, felis. Curabitur dictum gravida mauris. Nam arcu libero, nonummy eget, consectetur id, vulputate a, magna. Donec vehicula augue eu neque. Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Mauris ut leo. Cras viverra metus rhoncus sem. Nulla et lectus vestibulum urna fringilla ultrices. Phasellus eu tellus sit amet tortor gravida placerat. Integer sapien est, iaculis in, pretium quis, viverra ac, nunc. Praesent eget sem vel leo ultrices bibendum. Aenean faucibus. Morbi dolor nulla, malesuada eu, pulvinar at, mollis ac, nulla. Curabitur

auctor semper nulla. Donec varius orci eget risus. Duis nibh mi, congue eu, accumsan eleifend, sagittis quis, diam. Duis eget orci sit amet orci dignissim rutrum.

Nam dui ligula, fringilla a, euismod sodales, sollicitudin vel, wisi. Morbi auctor lorem non justo. Nam lacus libero, pretium at, lobortis vitae, ultricies et, tellus. Donec aliquet, tortor sed accumsan bibendum, erat ligula aliquet magna, vitae ornare odio metus a mi. Morbi ac orci et nisl hendrerit mollis. Suspendisse ut massa. Cras nec ante. Pellentesque a nulla. Cum sociis natoque penatibus et magnis dis parturient montes, nascetur ridiculus mus. Aliquam tincidunt urna. Nulla ullamcorper vestibulum turpis. Pellentesque cursus luctus mauris.

Nulla malesuada porttitor diam. Donec felis erat, congue non, volutpat at, tincidunt tristique, libero. Vivamus viverra fermentum felis. Donec nonummy pellentesque ante. Phasellus adipiscing semper elit. Proin fermentum massa ac quam. Sed diam turpis, molestie vitae, placerat a, molestie nec, leo. Maecenas lacinia. Nam ipsum ligula, eleifend at, accumsan nec, suscipit a, ipsum. Morbi blandit ligula feugiat magna. Nunc eleifend consequat lorem. Sed lacinia nulla vitae enim. Pellentesque tincidunt purus vel magna. Integer non enim. Praesent euismod nunc eu purus. Donec bibendum quam in tellus. Nullam cursus pulvinar lectus. Donec et mi. Nam vulputate metus eu enim. Vestibulum pellentesque felis eu massa.

Quisque ullamcorper placerat ipsum. Cras nibh. Morbi vel justo vitae lacus tincidunt ultrices. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. In hac habitasse platea dictumst. Integer tempus convallis augue. Etiam facilisis. Nunc elementum fermentum wisi. Aenean placerat. Ut imperdiet, enim sed gravida sollicitudin, felis odio placerat quam, ac pulvinar elit purus eget enim. Nunc vitae tortor. Proin tempus nibh sit amet nisl. Vivamus quis tortor vitae risus porta vehicula.



Fusce mauris. Vestibulum luctus nibh at lectus. Sed bibendum, nulla a faucibus semper, leo velit ultricies tellus, ac venenatis arcu wisi vel nisl. Vestibulum diam. Aliquam pellentesque, augue quis sagittis posuere, turpis lacus congue quam, in hendrerit risus eros eget felis. Maecenas eget erat in sapien mattis porttitor. Vestibulum porttitor. Nulla facilisi. Sed a turpis eu lacus commodo facilisis. Morbi fringilla, wisi in dignissim interdum, justo lectus sagittis dui, et vehicula libero dui cursus dui. Mauris tempor ligula sed lacus. Duis cursus enim ut augue. Cras ac magna. Cras nulla. Nulla egestas. Curabitur a leo. Quisque egestas wisi eget nunc. Nam feugiat lacus vel est. Curabitur consectetur.

Suspendisse vel felis. Ut lorem lorem, interdum eu, tincidunt sit amet, laoreet vitae, arcu. Aenean faucibus pede eu ante. Praesent enim elit, rutrum at, molestie non, nonummy vel, nisl. Ut lectus eros, malesuada sit amet, fermentum eu, sodales cursus, magna. Donec eu purus. Quisque vehicula, urna sed ultricies auctor, pede lorem egestas dui, et convallis elit erat sed nulla. Donec luctus. Curabitur et nunc. Aliquam dolor odio, commodo pretium, ultricies non, pharetra in, velit. Integer arcu est, nonummy in, fermentum faucibus, egestas vel, odio.

Sed commodo posuere pede. Mauris ut est. Ut quis purus. Sed ac odio. Sed vehicula hendrerit sem. Duis non odio. Morbi ut dui. Sed accumsan risus eget odio. In hac habitasse platea dictumst. Pellentesque non elit. Fusce sed justo eu urna porta tincidunt. Mauris felis odio, sollicitudin sed, volutpat a, ornare ac, erat. Morbi quis dolor. Donec pellentesque, erat ac sagittis semper, nunc dui lobortis purus, quis congue purus metus ultricies tellus. Proin et quam. Class aptent taciti sociosqu ad litora torquent per conubia nostra, per inceptos hymenaeos. Praesent sapien turpis, fermentum vel, eleifend faucibus, vehicula eu, lacus.

4.1 Device structure and optimization

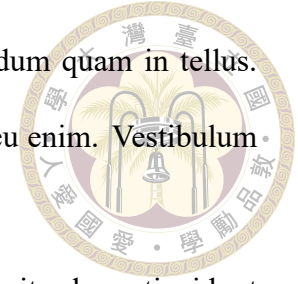


Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Ut purus elit, vestibulum ut, placerat ac, adipiscing vitae, felis. Curabitur dictum gravida mauris. Nam arcu libero, nonummy eget, consectetur id, vulputate a, magna. Donec vehicula augue eu neque. Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Mauris ut leo. Cras viverra metus rhoncus sem. Nulla et lectus vestibulum urna fringilla ultrices. Phasellus eu tellus sit amet tortor gravida placerat. Integer sapien est, iaculis in, pretium quis, viverra ac, nunc. Praesent eget sem vel leo ultrices bibendum. Aenean faucibus. Morbi dolor nulla, malesuada eu, pulvinar at, mollis ac, nulla. Curabitur auctor semper nulla. Donec varius orci eget risus. Duis nibh mi, congue eu, accumsan eleifend, sagittis quis, diam. Duis eget orci sit amet orci dignissim rutrum.

Nam dui ligula, fringilla a, euismod sodales, sollicitudin vel, wisi. Morbi auctor lorem non justo. Nam lacus libero, pretium at, lobortis vitae, ultricies et, tellus. Donec aliquet, tortor sed accumsan bibendum, erat ligula aliquet magna, vitae ornare odio metus a mi. Morbi ac orci et nisl hendrerit mollis. Suspendisse ut massa. Cras nec ante. Pellentesque a nulla. Cum sociis natoque penatibus et magnis dis parturient montes, nascetur ridiculus mus. Aliquam tincidunt urna. Nulla ullamcorper vestibulum turpis. Pellentesque cursus luctus mauris.

Nulla malesuada porttitor diam. Donec felis erat, congue non, volutpat at, tincidunt tristique, libero. Vivamus viverra fermentum felis. Donec nonummy pellentesque ante. Phasellus adipiscing semper elit. Proin fermentum massa ac quam. Sed diam turpis, molestie vitae, placerat a, molestie nec, leo. Maecenas lacinia. Nam ipsum ligula, eleifend at, accumsan nec, suscipit a, ipsum. Morbi blandit ligula feugiat magna. Nunc eleifend consequat lorem. Sed lacinia nulla vitae enim. Pellentesque tincidunt purus vel magna.

Integer non enim. Praesent euismod nunc eu purus. Donec bibendum quam in tellus. Nullam cursus pulvinar lectus. Donec et mi. Nam vulputate metus eu enim. Vestibulum pellentesque felis eu massa.



Quisque ullamcorper placerat ipsum. Cras nibh. Morbi vel justo vitae lacus tincidunt ultrices. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. In hac habitasse platea dictumst. Integer tempus convallis augue. Etiam facilisis. Nunc elementum fermentum wisi. Aenean placerat. Ut imperdiet, enim sed gravida sollicitudin, felis odio placerat quam, ac pulvinar elit purus eget enim. Nunc vitae tortor. Proin tempus nibh sit amet nisl. Vivamus quis tortor vitae risus porta vehicula.

Fusce mauris. Vestibulum luctus nibh at lectus. Sed bibendum, nulla a faucibus semper, leo velit ultricies tellus, ac venenatis arcu wisi vel nisl. Vestibulum diam. Aliquam pellentesque, augue quis sagittis posuere, turpis lacus congue quam, in hendrerit risus eros eget felis. Maecenas eget erat in sapien mattis porttitor. Vestibulum porttitor. Nulla facilisi. Sed a turpis eu lacus commodo facilisis. Morbi fringilla, wisi in dignissim interdum, justo lectus sagittis dui, et vehicula libero dui cursus dui. Mauris tempor ligula sed lacus. Duis cursus enim ut augue. Cras ac magna. Cras nulla. Nulla egestas. Curabitur a leo. Quisque egestas wisi eget nunc. Nam feugiat lacus vel est. Curabitur consectetur.

Suspendisse vel felis. Ut lorem lorem, interdum eu, tincidunt sit amet, laoreet vitae, arcu. Aenean faucibus pede eu ante. Praesent enim elit, rutrum at, molestie non, nonummy vel, nisl. Ut lectus eros, malesuada sit amet, fermentum eu, sodales cursus, magna. Donec eu purus. Quisque vehicula, urna sed ultricies auctor, pede lorem egestas dui, et convallis elit erat sed nulla. Donec luctus. Curabitur et nunc. Aliquam dolor odio, commodo pretium, ultricies non, pharetra in, velit. Integer arcu est, nonummy in, fermentum faucibus, egestas vel, odio.

Sed commodo posuere pede. Mauris ut est. Ut quis purus. Sed ac odio. Sed vehicula hendrerit sem. Duis non odio. Morbi ut dui. Sed accumsan risus eget odio. In hac habitasse platea dictumst. Pellentesque non elit. Fusce sed justo eu urna porta tincidunt. Mauris felis odio, sollicitudin sed, volutpat a, ornare ac, erat. Morbi quis dolor. Donec pellentesque, erat ac sagittis semper, nunc dui lobortis purus, quis congue purus metus ultricies tellus. Proin et quam. Class aptent taciti sociosqu ad litora torquent per conubia nostra, per inceptos hymenaeos. Praesent sapien turpis, fermentum vel, eleifend faucibus, vehicula eu, lacus.

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Ut purus elit, vestibulum ut, placerat ac, adipiscing vitae, felis. Curabitur dictum gravida mauris. Nam arcu libero, nonummy eget, consectetur id, vulputate a, magna. Donec vehicula augue eu neque. Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Mauris ut leo. Cras viverra metus rhoncus sem. Nulla et lectus vestibulum urna fringilla ultrices. Phasellus eu tellus sit amet tortor gravida placerat. Integer sapien est, iaculis in, pretium quis, viverra ac, nunc. Praesent eget sem vel leo ultrices bibendum. Aenean faucibus. Morbi dolor nulla, malesuada eu, pulvinar at, mollis ac, nulla. Curabitur auctor semper nulla. Donec varius orci eget risus. Duis nibh mi, congue eu, accumsan eleifend, sagittis quis, diam. Duis eget orci sit amet orci dignissim rutrum.

Nam dui ligula, fringilla a, euismod sodales, sollicitudin vel, wisi. Morbi auctor lorem non justo. Nam lacus libero, pretium at, lobortis vitae, ultricies et, tellus. Donec aliquet, tortor sed accumsan bibendum, erat ligula aliquet magna, vitae ornare odio metus a mi. Morbi ac orci et nisl hendrerit mollis. Suspendisse ut massa. Cras nec ante. Pellentesque a nulla. Cum sociis natoque penatibus et magnis dis parturient montes, nascetur ridiculus mus. Aliquam tincidunt urna. Nulla ullamcorper vestibulum turpis. Pellentesque

cursus luctus mauris.

Nulla malesuada porttitor diam. Donec felis erat, congue non, volutpat at, tincidunt. tristique, libero. Vivamus viverra fermentum felis. Donec nonummy pellentesque ante. Phasellus adipiscing semper elit. Proin fermentum massa ac quam. Sed diam turpis, molestie vitae, placerat a, molestie nec, leo. Maecenas lacinia. Nam ipsum ligula, eleifend at, accumsan nec, suscipit a, ipsum. Morbi blandit ligula feugiat magna. Nunc eleifend consequat lorem. Sed lacinia nulla vitae enim. Pellentesque tincidunt purus vel magna. Integer non enim. Praesent euismod nunc eu purus. Donec bibendum quam in tellus. Nullam cursus pulvinar lectus. Donec et mi. Nam vulputate metus eu enim. Vestibulum pellentesque felis eu massa.

Quisque ullamcorper placerat ipsum. Cras nibh. Morbi vel justo vitae lacus tincidunt ultrices. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. In hac habitasse platea dictumst. Integer tempus convallis augue. Etiam facilisis. Nunc elementum fermentum wisi. Aenean placerat. Ut imperdiet, enim sed gravida sollicitudin, felis odio placerat quam, ac pulvinar elit purus eget enim. Nunc vitae tortor. Proin tempus nibh sit amet nisl. Vivamus quis tortor vitae risus porta vehicula.

Fusce mauris. Vestibulum luctus nibh at lectus. Sed bibendum, nulla a faucibus semper, leo velit ultricies tellus, ac venenatis arcu wisi vel nisl. Vestibulum diam. Aliquam pellentesque, augue quis sagittis posuere, turpis lacus congue quam, in hendrerit risus eros eget felis. Maecenas eget erat in sapien mattis porttitor. Vestibulum porttitor. Nulla facilisi. Sed a turpis eu lacus commodo facilisis. Morbi fringilla, wisi in dignissim interdum, justo lectus sagittis dui, et vehicula libero dui cursus dui. Mauris tempor ligula sed lacus. Duis cursus enim ut augue. Cras ac magna. Cras nulla. Nulla egestas. Curabitur a leo. Quisque egestas wisi eget nunc. Nam feugiat lacus vel est. Curabitur consectetur.

Suspendisse vel felis. Ut lorem lorem, interdum eu, tincidunt sit amet, laoreet vitae, arcu. Aenean faucibus pede eu ante. Praesent enim elit, rutrum at, molestie non, nonummy vel, nisl. Ut lectus eros, malesuada sit amet, fermentum eu, sodales cursus, magna. Donec eu purus. Quisque vehicula, urna sed ultricies auctor, pede lorem egestas dui, et convallis elit erat sed nulla. Donec luctus. Curabitur et nunc. Aliquam dolor odio, commodo pretium, ultricies non, pharetra in, velit. Integer arcu est, nonummy in, fermentum faucibus, egestas vel, odio.

Sed commodo posuere pede. Mauris ut est. Ut quis purus. Sed ac odio. Sed vehicula hendrerit sem. Duis non odio. Morbi ut dui. Sed accumsan risus eget odio. In hac habitasse platea dictumst. Pellentesque non elit. Fusce sed justo eu urna porta tincidunt. Mauris felis odio, sollicitudin sed, volutpat a, ornare ac, erat. Morbi quis dolor. Donec pellentesque, erat ac sagittis semper, nunc dui lobortis purus, quis congue purus metus ultricies tellus. Proin et quam. Class aptent taciti sociosqu ad litora torquent per conubia nostra, per inceptos hymenaeos. Praesent sapien turpis, fermentum vel, eleifend faucibus, vehicula eu, lacus.

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Ut purus elit, vestibulum ut, placerat ac, adipiscing vitae, felis. Curabitur dictum gravida mauris. Nam arcu libero, nonummy eget, consectetur id, vulputate a, magna. Donec vehicula augue eu neque. Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Mauris ut leo. Cras viverra metus rhoncus sem. Nulla et lectus vestibulum urna fringilla ultrices. Phasellus eu tellus sit amet tortor gravida placerat. Integer sapien est, iaculis in, pretium quis, viverra ac, nunc. Praesent eget sem vel leo ultrices bibendum. Aenean faucibus. Morbi dolor nulla, malesuada eu, pulvinar at, mollis ac, nulla. Curabitur auctor semper nulla. Donec varius orci eget risus. Duis nibh mi, congue eu, accumsan eleifend,

sagittis quis, diam. Duis eget orci sit amet orci dignissim rutrum.

Nam dui ligula, fringilla a, euismod sodales, sollicitudin vel, wisi. Morbi auctor lorem non justo. Nam lacus libero, pretium at, lobortis vitae, ultricies et, tellus. Donec aliquet, tortor sed accumsan bibendum, erat ligula aliquet magna, vitae ornare odio metus a mi. Morbi ac orci et nisl hendrerit mollis. Suspendisse ut massa. Cras nec ante. Pellentesque a nulla. Cum sociis natoque penatibus et magnis dis parturient montes, nascetur ridiculus mus. Aliquam tincidunt urna. Nulla ullamcorper vestibulum turpis. Pellentesque cursus luctus mauris.

Nulla malesuada porttitor diam. Donec felis erat, congue non, volutpat at, tincidunt tristique, libero. Vivamus viverra fermentum felis. Donec nonummy pellentesque ante. Phasellus adipiscing semper elit. Proin fermentum massa ac quam. Sed diam turpis, molestie vitae, placerat a, molestie nec, leo. Maecenas lacinia. Nam ipsum ligula, eleifend at, accumsan nec, suscipit a, ipsum. Morbi blandit ligula feugiat magna. Nunc eleifend consequat lorem. Sed lacinia nulla vitae enim. Pellentesque tincidunt purus vel magna. Integer non enim. Praesent euismod nunc eu purus. Donec bibendum quam in tellus. Nullam cursus pulvinar lectus. Donec et mi. Nam vulputate metus eu enim. Vestibulum pellentesque felis eu massa.

Quisque ullamcorper placerat ipsum. Cras nibh. Morbi vel justo vitae lacus tincidunt ultrices. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. In hac habitasse platea dictumst. Integer tempus convallis augue. Etiam facilisis. Nunc elementum fermentum wisi. Aenean placerat. Ut imperdiet, enim sed gravida sollicitudin, felis odio placerat quam, ac pulvinar elit purus eget enim. Nunc vitae tortor. Proin tempus nibh sit amet nisl. Vivamus quis tortor vitae risus porta vehicula.

Fusce mauris. Vestibulum luctus nibh at lectus. Sed bibendum, nulla a faucibus sem-

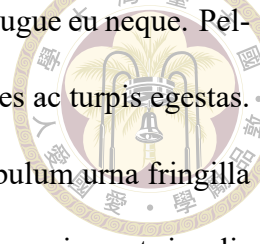


per, leo velit ultricies tellus, ac venenatis arcu wisi vel nisl. Vestibulum diam. Aliquam pellentesque, augue quis sagittis posuere, turpis lacus congue quam, in hendrerit risus eros eget felis. Maecenas eget erat in sapien mattis porttitor. Vestibulum porttitor. Nulla facilisi. Sed a turpis eu lacus commodo facilisis. Morbi fringilla, wisi in dignissim interdum, justo lectus sagittis dui, et vehicula libero dui cursus dui. Mauris tempor ligula sed lacus. Duis cursus enim ut augue. Cras ac magna. Cras nulla. Nulla egestas. Curabitur a leo. Quisque egestas wisi eget nunc. Nam feugiat lacus vel est. Curabitur consectetur.

Suspendisse vel felis. Ut lorem lorem, interdum eu, tincidunt sit amet, laoreet vitae, arcu. Aenean faucibus pede eu ante. Praesent enim elit, rutrum at, molestie non, nonummy vel, nisl. Ut lectus eros, malesuada sit amet, fermentum eu, sodales cursus, magna. Donec eu purus. Quisque vehicula, urna sed ultricies auctor, pede lorem egestas dui, et convallis elit erat sed nulla. Donec luctus. Curabitur et nunc. Aliquam dolor odio, commodo pretium, ultricies non, pharetra in, velit. Integer arcu est, nonummy in, fermentum faucibus, egestas vel, odio.

Sed commodo posuere pede. Mauris ut est. Ut quis purus. Sed ac odio. Sed vehicula hendrerit sem. Duis non odio. Morbi ut dui. Sed accumsan risus eget odio. In hac habitasse platea dictumst. Pellentesque non elit. Fusce sed justo eu urna porta tincidunt. Mauris felis odio, sollicitudin sed, volutpat a, ornare ac, erat. Morbi quis dolor. Donec pellentesque, erat ac sagittis semper, nunc dui lobortis purus, quis congue purus metus ultricies tellus. Proin et quam. Class aptent taciti sociosqu ad litora torquent per conubia nostra, per inceptos hymenaeos. Praesent sapien turpis, fermentum vel, eleifend faucibus, vehicula eu, lacus.

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Ut purus elit, vestibulum ut, placerat ac, adipiscing vitae, felis. Curabitur dictum gravida mauris. Nam arcu libero,



nonummy eget, consectetur id, vulputate a, magna. Donec vehicula augue eu neque. Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Mauris ut leo. Cras viverra metus rhoncus sem. Nulla et lectus vestibulum urna fringilla ultrices. Phasellus eu tellus sit amet tortor gravida placerat. Integer sapien est, iaculis in, pretium quis, viverra ac, nunc. Praesent eget sem vel leo ultrices bibendum. Aenean faucibus. Morbi dolor nulla, malesuada eu, pulvinar at, mollis ac, nulla. Curabitur auctor semper nulla. Donec varius orci eget risus. Duis nibh mi, congue eu, accumsan eleifend, sagittis quis, diam. Duis eget orci sit amet orci dignissim rutrum.

Nam dui ligula, fringilla a, euismod sodales, sollicitudin vel, wisi. Morbi auctor lorem non justo. Nam lacus libero, pretium at, lobortis vitae, ultricies et, tellus. Donec aliquet, tortor sed accumsan bibendum, erat ligula aliquet magna, vitae ornare odio metus a mi. Morbi ac orci et nisl hendrerit mollis. Suspendisse ut massa. Cras nec ante. Pellentesque a nulla. Cum sociis natoque penatibus et magnis dis parturient montes, nascetur ridiculus mus. Aliquam tincidunt urna. Nulla ullamcorper vestibulum turpis. Pellentesque cursus luctus mauris.

Nulla malesuada porttitor diam. Donec felis erat, congue non, volutpat at, tincidunt tristique, libero. Vivamus viverra fermentum felis. Donec nonummy pellentesque ante. Phasellus adipiscing semper elit. Proin fermentum massa ac quam. Sed diam turpis, molestie vitae, placerat a, molestie nec, leo. Maecenas lacinia. Nam ipsum ligula, eleifend at, accumsan nec, suscipit a, ipsum. Morbi blandit ligula feugiat magna. Nunc eleifend consequat lorem. Sed lacinia nulla vitae enim. Pellentesque tincidunt purus vel magna. Integer non enim. Praesent euismod nunc eu purus. Donec bibendum quam in tellus. Nullam cursus pulvinar lectus. Donec et mi. Nam vulputate metus eu enim. Vestibulum pellentesque felis eu massa.

Quisque ullamcorper placerat ipsum. Cras nibh. Morbi vel justo vitae lacus tincidunt ultrices. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. In hac habitasse platea dictumst. Integer tempus convallis augue. Etiam facilisis. Nunc elementum fermentum wisi. Aenean placerat. Ut imperdiet, enim sed gravida sollicitudin, felis odio placerat quam, ac pulvinar elit purus eget enim. Nunc vitae tortor. Proin tempus nibh sit amet nisl. Vivamus quis tortor vitae risus porta vehicula.

Fusce mauris. Vestibulum luctus nibh at lectus. Sed bibendum, nulla a faucibus semper, leo velit ultricies tellus, ac venenatis arcu wisi vel nisl. Vestibulum diam. Aliquam pellentesque, augue quis sagittis posuere, turpis lacus congue quam, in hendrerit risus eros eget felis. Maecenas eget erat in sapien mattis porttitor. Vestibulum porttitor. Nulla facilisi. Sed a turpis eu lacus commodo facilisis. Morbi fringilla, wisi in dignissim interdum, justo lectus sagittis dui, et vehicula libero dui cursus dui. Mauris tempor ligula sed lacus. Duis cursus enim ut augue. Cras ac magna. Cras nulla. Nulla egestas. Curabitur a leo. Quisque egestas wisi eget nunc. Nam feugiat lacus vel est. Curabitur consectetur.

Suspendisse vel felis. Ut lorem lorem, interdum eu, tincidunt sit amet, laoreet vitae, arcu. Aenean faucibus pede eu ante. Praesent enim elit, rutrum at, molestie non, nonummy vel, nisl. Ut lectus eros, malesuada sit amet, fermentum eu, sodales cursus, magna. Donec eu purus. Quisque vehicula, urna sed ultricies auctor, pede lorem egestas dui, et convallis elit erat sed nulla. Donec luctus. Curabitur et nunc. Aliquam dolor odio, commodo pretium, ultricies non, pharetra in, velit. Integer arcu est, nonummy in, fermentum faucibus, egestas vel, odio.

Sed commodo posuere pede. Mauris ut est. Ut quis purus. Sed ac odio. Sed vehicula hendrerit sem. Duis non odio. Morbi ut dui. Sed accumsan risus eget odio. In hac habitasse platea dictumst. Pellentesque non elit. Fusce sed justo eu urna porta tincidunt.

Table 4.1: Performance comparison of CWDM filters in the literature.

Structure	EL (dB)	XT (dB)	Mat./ Band	BW ^a _{1-dB} (nm)	ABW ^b _{20-dB} (nm)	ABW ^c _{28-dB} (nm)
AWG [48] (Fig. 6(a))	5–6	–27	InP/ O	3	< 3	–
AWG [10] (Fig. 14)	~3	–25	Si/ O	~11	~12.8	–
EG ^d [97] (Fig. 5(d))	~3	–22	Si/ C	~5.7	~7.5	–
EG [37] (Fig. 3(c))	2–3	–30	SiN/ O	~6.7	5.7	< 3
MMI ^e [35] (Fig. 3(d))	2–3	–13	Si/ C	8.5	–	–
MMI [34] (Fig. 6(b))	< 1	–18	LN/ O	7.5	–	–
MZI [58] (Fig. 6(b))	~0.5	–16	Si/ C	~14	–	–
MZI [52] (Fig. 5(d))	< 1	–23	Si/ O	18	~3.7	–
MZI [60] (Fig. 3(b))	1.78	–15	SiN/ O	11.86	–	–
WBG ^f [45] (Fig. 6(b))	~1	–12	Si/ C	12	–	–
WBG [40] (Fig. 7)	< 1	–13	Si/ C	7	–	–
WBG [41] (Fig. 5(c))	~1	–20	Si/ O	15	~12	–
WBG [42] (Fig. 5(b))	< 1.1	–18	LN/ C	10	–	–
Proposed Structure	< 1	–28	SiN/ O	13.45	~15.7	14.35

^a 1-dB bandwidth measured from the transmission peak.

^b Available bandwidth for channel XT below –20 dB, *i.e.*, ABW_{20-dB}.

^c Available bandwidth for channel XT below –28 dB, *i.e.*, ABW_{28-dB}.

^d Echelle grating; ^e Multi-mode interferometer; ^f Waveguide Bragg grating.

Mauris felis odio, sollicitudin sed, volutpat a, ornare ac, erat. Morbi quis dolor. Donec pellentesque, erat ac sagittis semper, nunc dui lobortis purus, quis congue purus metus ultricies tellus. Proin et quam. Class aptent taciti sociosqu ad litora torquent per conubia nostra, per inceptos hymenaeos. Praesent sapien turpis, fermentum vel, eleifend faucibus, vehicula eu, lacus. Table 4.1 shows performance comparison, indicating the ultra-low channel XT of –28 dB with its ultra-broad available bandwidth ~14.35 nm, outperforming

all other CWDM filters in the literature.



4.2 Analysis of fabrication tolerance

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Ut purus elit, vestibulum ut, placerat ac, adipiscing vitae, felis. Curabitur dictum gravida mauris. Nam arcu libero, nonummy eget, consectetur id, vulputate a, magna. Donec vehicula augue eu neque. Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Mauris ut leo. Cras viverra metus rhoncus sem. Nulla et lectus vestibulum urna fringilla ultrices. Phasellus eu tellus sit amet tortor gravida placerat. Integer sapien est, iaculis in, pretium quis, viverra ac, nunc. Praesent eget sem vel leo ultrices bibendum. Aenean faucibus. Morbi dolor nulla, malesuada eu, pulvinar at, mollis ac, nulla. Curabitur auctor semper nulla. Donec varius orci eget risus. Duis nibh mi, congue eu, accumsan eleifend, sagittis quis, diam. Duis eget orci sit amet orci dignissim rutrum.

Nam dui ligula, fringilla a, euismod sodales, sollicitudin vel, wisi. Morbi auctor lorem non justo. Nam lacus libero, pretium at, lobortis vitae, ultricies et, tellus. Donec aliquet, tortor sed accumsan bibendum, erat ligula aliquet magna, vitae ornare odio metus a mi. Morbi ac orci et nisl hendrerit mollis. Suspendisse ut massa. Cras nec ante. Pellentesque a nulla. Cum sociis natoque penatibus et magnis dis parturient montes, nascetur ridiculus mus. Aliquam tincidunt urna. Nulla ullamcorper vestibulum turpis. Pellentesque cursus luctus mauris.

Nulla malesuada porttitor diam. Donec felis erat, congue non, volutpat at, tincidunt tristique, libero. Vivamus viverra fermentum felis. Donec nonummy pellentesque ante. Phasellus adipiscing semper elit. Proin fermentum massa ac quam. Sed diam turpis, molestie vitae, placerat a, molestie nec, leo. Maecenas lacinia. Nam ipsum ligula, eleifend

at, accumsan nec, suscipit a, ipsum. Morbi blandit ligula feugiat magna. Nunc eleifend consequat lorem. Sed lacinia nulla vitae enim. Pellentesque tincidunt purus vel magna. Integer non enim. Praesent euismod nunc eu purus. Donec bibendum quam in tellus. Nullam cursus pulvinar lectus. Donec et mi. Nam vulputate metus eu enim. Vestibulum pellentesque felis eu massa.

Quisque ullamcorper placerat ipsum. Cras nibh. Morbi vel justo vitae lacus tincidunt ultrices. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. In hac habitasse platea dictumst. Integer tempus convallis augue. Etiam facilisis. Nunc elementum fermentum wisi. Aenean placerat. Ut imperdiet, enim sed gravida sollicitudin, felis odio placerat quam, ac pulvinar elit purus eget enim. Nunc vitae tortor. Proin tempus nibh sit amet nisl. Vivamus quis tortor vitae risus porta vehicula.

Fusce mauris. Vestibulum luctus nibh at lectus. Sed bibendum, nulla a faucibus semper, leo velit ultricies tellus, ac venenatis arcu wisi vel nisl. Vestibulum diam. Aliquam pellentesque, augue quis sagittis posuere, turpis lacus congue quam, in hendrerit risus eros eget felis. Maecenas eget erat in sapien mattis porttitor. Vestibulum porttitor. Nulla facilisi. Sed a turpis eu lacus commodo facilisis. Morbi fringilla, wisi in dignissim interdum, justo lectus sagittis dui, et vehicula libero dui cursus dui. Mauris tempor ligula sed lacus. Duis cursus enim ut augue. Cras ac magna. Cras nulla. Nulla egestas. Curabitur a leo. Quisque egestas wisi eget nunc. Nam feugiat lacus vel est. Curabitur consectetur.

Suspendisse vel felis. Ut lorem lorem, interdum eu, tincidunt sit amet, laoreet vitae, arcu. Aenean faucibus pede eu ante. Praesent enim elit, rutrum at, molestie non, nonummy vel, nisl. Ut lectus eros, malesuada sit amet, fermentum eu, sodales cursus, magna. Donec eu purus. Quisque vehicula, urna sed ultricies auctor, pede lorem egestas dui, et convallis elit erat sed nulla. Donec luctus. Curabitur et nunc. Aliquam dolor odio, commodo pre-

tium, ultricies non, pharetra in, velit. Integer arcu est, nonummy in, fermentum faucibus, egestas vel, odio.

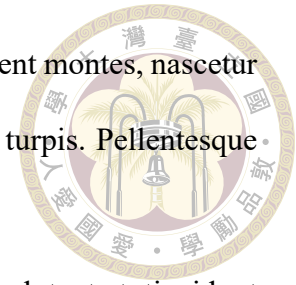


Sed commodo posuere pede. Mauris ut est. Ut quis purus. Sed ac odio. Sed vehicula hendrerit sem. Duis non odio. Morbi ut dui. Sed accumsan risus eget odio. In hac habitasse platea dictumst. Pellentesque non elit. Fusce sed justo eu urna porta tincidunt. Mauris felis odio, sollicitudin sed, volutpat a, ornare ac, erat. Morbi quis dolor. Donec pellentesque, erat ac sagittis semper, nunc dui lobortis purus, quis congue purus metus ultricies tellus. Proin et quam. Class aptent taciti sociosqu ad litora torquent per conubia nostra, per inceptos hymenaeos. Praesent sapien turpis, fermentum vel, eleifend faucibus, vehicula eu, lacus.

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Ut purus elit, vestibulum ut, placerat ac, adipiscing vitae, felis. Curabitur dictum gravida mauris. Nam arcu libero, nonummy eget, consectetur id, vulputate a, magna. Donec vehicula augue eu neque. Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Mauris ut leo. Cras viverra metus rhoncus sem. Nulla et lectus vestibulum urna fringilla ultrices. Phasellus eu tellus sit amet tortor gravida placerat. Integer sapien est, iaculis in, pretium quis, viverra ac, nunc. Praesent eget sem vel leo ultrices bibendum. Aenean faucibus. Morbi dolor nulla, malesuada eu, pulvinar at, mollis ac, nulla. Curabitur auctor semper nulla. Donec varius orci eget risus. Duis nibh mi, congue eu, accumsan eleifend, sagittis quis, diam. Duis eget orci sit amet orci dignissim rutrum.

Nam dui ligula, fringilla a, euismod sodales, sollicitudin vel, wisi. Morbi auctor lorem non justo. Nam lacus libero, pretium at, lobortis vitae, ultricies et, tellus. Donec aliquet, tortor sed accumsan bibendum, erat ligula aliquet magna, vitae ornare odio metus a mi. Morbi ac orci et nisl hendrerit mollis. Suspendisse ut massa. Cras nec ante. Pel-

lentesque a nulla. Cum sociis natoque penatibus et magnis dis parturient montes, nascetur ridiculus mus. Aliquam tincidunt urna. Nulla ullamcorper vestibulum turpis. Pellentesque cursus luctus mauris.



Nulla malesuada porttitor diam. Donec felis erat, congue non, volutpat at, tincidunt tristique, libero. Vivamus viverra fermentum felis. Donec nonummy pellentesque ante. Phasellus adipiscing semper elit. Proin fermentum massa ac quam. Sed diam turpis, molestie vitae, placerat a, molestie nec, leo. Maecenas lacinia. Nam ipsum ligula, eleifend at, accumsan nec, suscipit a, ipsum. Morbi blandit ligula feugiat magna. Nunc eleifend consequat lorem. Sed lacinia nulla vitae enim. Pellentesque tincidunt purus vel magna. Integer non enim. Praesent euismod nunc eu purus. Donec bibendum quam in tellus. Nullam cursus pulvinar lectus. Donec et mi. Nam vulputate metus eu enim. Vestibulum pellentesque felis eu massa.

Quisque ullamcorper placerat ipsum. Cras nibh. Morbi vel justo vitae lacus tincidunt ultrices. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. In hac habitasse platea dictumst. Integer tempus convallis augue. Etiam facilisis. Nunc elementum fermentum wisi. Aenean placerat. Ut imperdiet, enim sed gravida sollicitudin, felis odio placerat quam, ac pulvinar elit purus eget enim. Nunc vitae tortor. Proin tempus nibh sit amet nisl. Vivamus quis tortor vitae risus porta vehicula.

Fusce mauris. Vestibulum luctus nibh at lectus. Sed bibendum, nulla a faucibus semper, leo velit ultricies tellus, ac venenatis arcu wisi vel nisl. Vestibulum diam. Aliquam pellentesque, augue quis sagittis posuere, turpis lacus congue quam, in hendrerit risus eros eget felis. Maecenas eget erat in sapien mattis porttitor. Vestibulum porttitor. Nulla facilisi. Sed a turpis eu lacus commodo facilisis. Morbi fringilla, wisi in dignissim interdum, justo lectus sagittis dui, et vehicula libero dui cursus dui. Mauris tempor ligula sed lacus.

Duis cursus enim ut augue. Cras ac magna. Cras nulla. Nulla egestas. Curabitur a leo. Quisque egestas wisi eget nunc. Nam feugiat lacus vel est. Curabitur consectetur.

Suspendisse vel felis. Ut lorem lorem, interdum eu, tincidunt sit amet, laoreet vitae, arcu. Aenean faucibus pede eu ante. Praesent enim elit, rutrum at, molestie non, nonummy vel, nisl. Ut lectus eros, malesuada sit amet, fermentum eu, sodales cursus, magna. Donec eu purus. Quisque vehicula, urna sed ultricies auctor, pede lorem egestas dui, et convallis elit erat sed nulla. Donec luctus. Curabitur et nunc. Aliquam dolor odio, commodo pretium, ultricies non, pharetra in, velit. Integer arcu est, nonummy in, fermentum faucibus, egestas vel, odio.

Sed commodo posuere pede. Mauris ut est. Ut quis purus. Sed ac odio. Sed vehicula hendrerit sem. Duis non odio. Morbi ut dui. Sed accumsan risus eget odio. In hac habitasse platea dictumst. Pellentesque non elit. Fusce sed justo eu urna porta tincidunt. Mauris felis odio, sollicitudin sed, volutpat a, ornare ac, erat. Morbi quis dolor. Donec pellentesque, erat ac sagittis semper, nunc dui lobortis purus, quis congue purus metus ultricies tellus. Proin et quam. Class aptent taciti sociosqu ad litora torquent per conubia nostra, per inceptos hymenaeos. Praesent sapien turpis, fermentum vel, eleifend faucibus, vehicula eu, lacus.

4.3 Summary

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Ut purus elit, vestibulum ut, placerat ac, adipiscing vitae, felis. Curabitur dictum gravida mauris. Nam arcu libero, nonummy eget, consectetur id, vulputate a, magna. Donec vehicula augue eu neque. Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Mauris ut leo. Cras viverra metus rhoncus sem. Nulla et lectus vestibulum urna fringilla

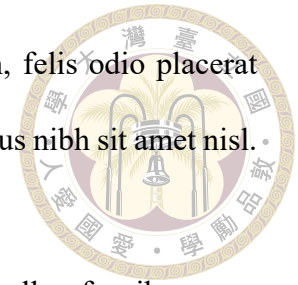
ultrices. Phasellus eu tellus sit amet tortor gravida placerat. Integer sapien est, iaculis in, pretium quis, viverra ac, nunc. Praesent eget sem vel leo ultrices bibendum. Aenean faucibus. Morbi dolor nulla, malesuada eu, pulvinar at, mollis ac, nulla. Curabitur auctor semper nulla. Donec varius orci eget risus. Duis nibh mi, congue eu, accumsan eleifend, sagittis quis, diam. Duis eget orci sit amet orci dignissim rutrum.

Nam dui ligula, fringilla a, euismod sodales, sollicitudin vel, wisi. Morbi auctor lorem non justo. Nam lacus libero, pretium at, lobortis vitae, ultricies et, tellus. Donec aliquet, tortor sed accumsan bibendum, erat ligula aliquet magna, vitae ornare odio metus a mi. Morbi ac orci et nisl hendrerit mollis. Suspendisse ut massa. Cras nec ante. Pellentesque a nulla. Cum sociis natoque penatibus et magnis dis parturient montes, nascetur ridiculus mus. Aliquam tincidunt urna. Nulla ullamcorper vestibulum turpis. Pellentesque cursus luctus mauris.

Nulla malesuada porttitor diam. Donec felis erat, congue non, volutpat at, tincidunt tristique, libero. Vivamus viverra fermentum felis. Donec nonummy pellentesque ante. Phasellus adipiscing semper elit. Proin fermentum massa ac quam. Sed diam turpis, molestie vitae, placerat a, molestie nec, leo. Maecenas lacinia. Nam ipsum ligula, eleifend at, accumsan nec, suscipit a, ipsum. Morbi blandit ligula feugiat magna. Nunc eleifend consequat lorem. Sed lacinia nulla vitae enim. Pellentesque tincidunt purus vel magna. Integer non enim. Praesent euismod nunc eu purus. Donec bibendum quam in tellus. Nullam cursus pulvinar lectus. Donec et mi. Nam vulputate metus eu enim. Vestibulum pellentesque felis eu massa.

Quisque ullamcorper placerat ipsum. Cras nibh. Morbi vel justo vitae lacus tincidunt ultrices. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. In hac habitasse platea dictumst. Integer tempus convallis augue. Etiam facilisis. Nunc elementum fermentum

wisi. Aenean placerat. Ut imperdiet, enim sed gravida sollicitudin, felis odio placerat quam, ac pulvinar elit purus eget enim. Nunc vitae tortor. Proin tempus nibh sit amet nisl. Vivamus quis tortor vitae risus porta vehicula.



Fusce mauris. Vestibulum luctus nibh at lectus. Sed bibendum, nulla a faucibus semper, leo velit ultricies tellus, ac venenatis arcu wisi vel nisl. Vestibulum diam. Aliquam pellentesque, augue quis sagittis posuere, turpis lacus congue quam, in hendrerit risus eros eget felis. Maecenas eget erat in sapien mattis porttitor. Vestibulum porttitor. Nulla facilis. Sed a turpis eu lacus commodo facilisis. Morbi fringilla, wisi in dignissim interdum, justo lectus sagittis dui, et vehicula libero dui cursus dui. Mauris tempor ligula sed lacus. Duis cursus enim ut augue. Cras ac magna. Cras nulla. Nulla egestas. Curabitur a leo. Quisque egestas wisi eget nunc. Nam feugiat lacus vel est. Curabitur consectetur.

Suspendisse vel felis. Ut lorem lorem, interdum eu, tincidunt sit amet, laoreet vitae, arcu. Aenean faucibus pede eu ante. Praesent enim elit, rutrum at, molestie non, nonummy vel, nisl. Ut lectus eros, malesuada sit amet, fermentum eu, sodales cursus, magna. Donec eu purus. Quisque vehicula, urna sed ultricies auctor, pede lorem egestas dui, et convallis elit erat sed nulla. Donec luctus. Curabitur et nunc. Aliquam dolor odio, commodo pretium, ultricies non, pharetra in, velit. Integer arcu est, nonummy in, fermentum faucibus, egestas vel, odio.

Sed commodo posuere pede. Mauris ut est. Ut quis purus. Sed ac odio. Sed vehicula hendrerit sem. Duis non odio. Morbi ut dui. Sed accumsan risus eget odio. In hac habitasse platea dictumst. Pellentesque non elit. Fusce sed justo eu urna porta tincidunt. Mauris felis odio, sollicitudin sed, volutpat a, ornare ac, erat. Morbi quis dolor. Donec pellentesque, erat ac sagittis semper, nunc dui lobortis purus, quis congue purus metus ultricies tellus. Proin et quam. Class aptent taciti sociosqu ad litora torquent per conubia

nostra, per inceptos hymenaeos. Praesent sapien turpis, fermentum vel, eleifend faucibus, vehicula eu, lacus. showing the great potential and high attractiveness of the proposed device for use in the O-band CWDM telecommunication systems.



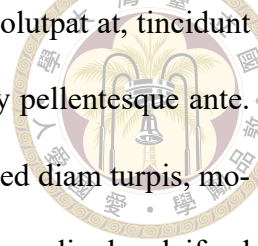


Chapter 5 Conclusion

5.1 Summary

In this dissertation, Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Ut purus elit, vestibulum ut, placerat ac, adipiscing vitae, felis. Curabitur dictum gravida mauris. Nam arcu libero, nonummy eget, consectetur id, vulputate a, magna. Donec vehicula augue eu neque. Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Mauris ut leo. Cras viverra metus rhoncus sem. Nulla et lectus vestibulum urna fringilla ultrices. Phasellus eu tellus sit amet tortor gravida placerat. Integer sapien est, iaculis in, pretium quis, viverra ac, nunc. Praesent eget sem vel leo ultrices bibendum. Aenean faucibus. Morbi dolor nulla, malesuada eu, pulvinar at, mollis ac, nulla. Curabitur auctor semper nulla. Donec varius orci eget risus. Duis nibh mi, congue eu, accumsan eleifend, sagittis quis, diam. Duis eget orci sit amet orci dignissim rutrum.

Nam dui ligula, fringilla a, euismod sodales, sollicitudin vel, wisi. Morbi auctor lorem non justo. Nam lacus libero, pretium at, lobortis vitae, ultricies et, tellus. Donec aliquet, tortor sed accumsan bibendum, erat ligula aliquet magna, vitae ornare odio metus a mi. Morbi ac orci et nisl hendrerit mollis. Suspendisse ut massa. Cras nec ante. Pellentesque a nulla. Cum sociis natoque penatibus et magnis dis parturient montes, nascetur ridiculus mus. Aliquam tincidunt urna. Nulla ullamcorper vestibulum turpis. Pellentesque cursus luctus mauris.



Nulla malesuada porttitor diam. Donec felis erat, congue non, volutpat at, tincidunt tristique, libero. Vivamus viverra fermentum felis. Donec nonummy pellentesque ante. Phasellus adipiscing semper elit. Proin fermentum massa ac quam. Sed diam turpis, molestie vitae, placerat a, molestie nec, leo. Maecenas lacinia. Nam ipsum ligula, eleifend at, accumsan nec, suscipit a, ipsum. Morbi blandit ligula feugiat magna. Nunc eleifend consequat lorem. Sed lacinia nulla vitae enim. Pellentesque tincidunt purus vel magna. Integer non enim. Praesent euismod nunc eu purus. Donec bibendum quam in tellus. Nullam cursus pulvinar lectus. Donec et mi. Nam vulputate metus eu enim. Vestibulum pellentesque felis eu massa.

Quisque ullamcorper placerat ipsum. Cras nibh. Morbi vel justo vitae lacus tincidunt ultrices. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. In hac habitasse platea dictumst. Integer tempus convallis augue. Etiam facilisis. Nunc elementum fermentum wisi. Aenean placerat. Ut imperdiet, enim sed gravida sollicitudin, felis odio placerat quam, ac pulvinar elit purus eget enim. Nunc vitae tortor. Proin tempus nibh sit amet nisl. Vivamus quis tortor vitae risus porta vehicula.

Fusce mauris. Vestibulum luctus nibh at lectus. Sed bibendum, nulla a faucibus semper, leo velit ultricies tellus, ac venenatis arcu wisi vel nisl. Vestibulum diam. Aliquam pellentesque, augue quis sagittis posuere, turpis lacus congue quam, in hendrerit risus eros eget felis. Maecenas eget erat in sapien mattis porttitor. Vestibulum porttitor. Nulla facilisi. Sed a turpis eu lacus commodo facilisis. Morbi fringilla, wisi in dignissim interdum, justo lectus sagittis dui, et vehicula libero dui cursus dui. Mauris tempor ligula sed lacus. Duis cursus enim ut augue. Cras ac magna. Cras nulla. Nulla egestas. Curabitur a leo. Quisque egestas wisi eget nunc. Nam feugiat lacus vel est. Curabitur consectetur.

Suspendisse vel felis. Ut lorem lorem, interdum eu, tincidunt sit amet, laoreet vitae,

arcu. Aenean faucibus pede eu ante. Praesent enim elit, rutrum at, molestie non, nonummy vel, nisl. Ut lectus eros, malesuada sit amet, fermentum eu, sodales cursus, magna. Donec eu purus. Quisque vehicula, urna sed ultricies auctor, pede lorem egestas dui, et convallis elit erat sed nulla. Donec luctus. Curabitur et nunc. Aliquam dolor odio, commodo pretium, ultricies non, pharetra in, velit. Integer arcu est, nonummy in, fermentum faucibus, egestas vel, odio.

Sed commodo posuere pede. Mauris ut est. Ut quis purus. Sed ac odio. Sed vehicula hendrerit sem. Duis non odio. Morbi ut dui. Sed accumsan risus eget odio. In hac habitasse platea dictumst. Pellentesque non elit. Fusce sed justo eu urna porta tincidunt. Mauris felis odio, sollicitudin sed, volutpat a, ornare ac, erat. Morbi quis dolor. Donec pellentesque, erat ac sagittis semper, nunc dui lobortis purus, quis congue purus metus ultricies tellus. Proin et quam. Class aptent taciti sociosqu ad litora torquent per conubia nostra, per inceptos hymenaeos. Praesent sapien turpis, fermentum vel, eleifend faucibus, vehicula eu, lacus.

In Chapter 3, Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Ut purus elit, vestibulum ut, placerat ac, adipiscing vitae, felis. Curabitur dictum gravida mauris. Nam arcu libero, nonummy eget, consectetur id, vulputate a, magna. Donec vehicula augue eu neque. Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Mauris ut leo. Cras viverra metus rhoncus sem. Nulla et lectus vestibulum urna fringilla ultrices. Phasellus eu tellus sit amet tortor gravida placerat. Integer sapien est, iaculis in, pretium quis, viverra ac, nunc. Praesent eget sem vel leo ultrices bibendum. Aenean faucibus. Morbi dolor nulla, malesuada eu, pulvinar at, mollis ac, nulla. Curabitur auctor semper nulla. Donec varius orci eget risus. Duis nibh mi, congue eu, accumsan eleifend, sagittis quis, diam. Duis eget orci sit amet orci dignissim rutrum.

Nam dui ligula, fringilla a, euismod sodales, sollicitudin vel, wisi. Morbi auctor lorem non justo. Nam lacus libero, pretium at, lobortis vitae, ultricies et, tellus. Donec aliquet, tortor sed accumsan bibendum, erat ligula aliquet magna, vitae ornare odio metus a mi. Morbi ac orci et nisl hendrerit mollis. Suspendisse ut massa. Cras nec ante. Pellentesque a nulla. Cum sociis natoque penatibus et magnis dis parturient montes, nascetur ridiculus mus. Aliquam tincidunt urna. Nulla ullamcorper vestibulum turpis. Pellentesque cursus luctus mauris.

Nulla malesuada porttitor diam. Donec felis erat, congue non, volutpat at, tincidunt tristique, libero. Vivamus viverra fermentum felis. Donec nonummy pellentesque ante. Phasellus adipiscing semper elit. Proin fermentum massa ac quam. Sed diam turpis, molestie vitae, placerat a, molestie nec, leo. Maecenas lacinia. Nam ipsum ligula, eleifend at, accumsan nec, suscipit a, ipsum. Morbi blandit ligula feugiat magna. Nunc eleifend consequat lorem. Sed lacinia nulla vitae enim. Pellentesque tincidunt purus vel magna. Integer non enim. Praesent euismod nunc eu purus. Donec bibendum quam in tellus. Nullam cursus pulvinar lectus. Donec et mi. Nam vulputate metus eu enim. Vestibulum pellentesque felis eu massa.

Quisque ullamcorper placerat ipsum. Cras nibh. Morbi vel justo vitae lacus tincidunt ultrices. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. In hac habitasse platea dictumst. Integer tempus convallis augue. Etiam facilisis. Nunc elementum fermentum wisi. Aenean placerat. Ut imperdiet, enim sed gravida sollicitudin, felis odio placerat quam, ac pulvinar elit purus eget enim. Nunc vitae tortor. Proin tempus nibh sit amet nisl. Vivamus quis tortor vitae risus porta vehicula.

Fusce mauris. Vestibulum luctus nibh at lectus. Sed bibendum, nulla a faucibus semper, leo velit ultricies tellus, ac venenatis arcu wisi vel nisl. Vestibulum diam. Aliquam

pellentesque, augue quis sagittis posuere, turpis lacus congue quam, in hendrerit risus eros eget felis. Maecenas eget erat in sapien mattis porttitor. Vestibulum porttitor. Nulla facili. Sed a turpis eu lacus commodo facilisis. Morbi fringilla, wisi in dignissim interdum, justo lectus sagittis dui, et vehicula libero dui cursus dui. Mauris tempor ligula sed lacus. Duis cursus enim ut augue. Cras ac magna. Cras nulla. Nulla egestas. Curabitur a leo. Quisque egestas wisi eget nunc. Nam feugiat lacus vel est. Curabitur consectetur.

Suspendisse vel felis. Ut lorem lorem, interdum eu, tincidunt sit amet, laoreet vitae, arcu. Aenean faucibus pede eu ante. Praesent enim elit, rutrum at, molestie non, nonummy vel, nisl. Ut lectus eros, malesuada sit amet, fermentum eu, sodales cursus, magna. Donec eu purus. Quisque vehicula, urna sed ultricies auctor, pede lorem egestas dui, et convallis elit erat sed nulla. Donec luctus. Curabitur et nunc. Aliquam dolor odio, commodo pretium, ultricies non, pharetra in, velit. Integer arcu est, nonummy in, fermentum faucibus, egestas vel, odio.

Sed commodo posuere pede. Mauris ut est. Ut quis purus. Sed ac odio. Sed vehicula hendrerit sem. Duis non odio. Morbi ut dui. Sed accumsan risus eget odio. In hac habitasse platea dictumst. Pellentesque non elit. Fusce sed justo eu urna porta tincidunt. Mauris felis odio, sollicitudin sed, volutpat a, ornare ac, erat. Morbi quis dolor. Donec pellentesque, erat ac sagittis semper, nunc dui lobortis purus, quis congue purus metus ultricies tellus. Proin et quam. Class aptent taciti sociosqu ad litora torquent per conubia nostra, per inceptos hymenaeos. Praesent sapien turpis, fermentum vel, eleifend faucibus, vehicula eu, lacus.

In Chapter 4, on the other hand, Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Ut purus elit, vestibulum ut, placerat ac, adipiscing vitae, felis. Curabitur dictum gravida mauris. Nam arcu libero, nonummy eget, consectetur id, vulputate a, magna.

Donec vehicula augue eu neque. Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Mauris ut leo. Cras viverra metus rhoncus sem. Nulla et lectus vestibulum urna fringilla ultrices. Phasellus eu tellus sit amet tortor gravida placerat. Integer sapien est, iaculis in, pretium quis, viverra ac, nunc. Praesent eget sem vel leo ultrices bibendum. Aenean faucibus. Morbi dolor nulla, malesuada eu, pulvinar at, mollis ac, nulla. Curabitur auctor semper nulla. Donec varius orci eget risus. Duis nibh mi, congue eu, accumsan eleifend, sagittis quis, diam. Duis eget orci sit amet orci dignissim rutrum.

Nam dui ligula, fringilla a, euismod sodales, sollicitudin vel, wisi. Morbi auctor lorem non justo. Nam lacus libero, pretium at, lobortis vitae, ultricies et, tellus. Donec aliquet, tortor sed accumsan bibendum, erat ligula aliquet magna, vitae ornare odio metus a mi. Morbi ac orci et nisl hendrerit mollis. Suspendisse ut massa. Cras nec ante. Pellentesque a nulla. Cum sociis natoque penatibus et magnis dis parturient montes, nascetur ridiculus mus. Aliquam tincidunt urna. Nulla ullamcorper vestibulum turpis. Pellentesque cursus luctus mauris.

Nulla malesuada porttitor diam. Donec felis erat, congue non, volutpat at, tincidunt tristique, libero. Vivamus viverra fermentum felis. Donec nonummy pellentesque ante. Phasellus adipiscing semper elit. Proin fermentum massa ac quam. Sed diam turpis, molestie vitae, placerat a, molestie nec, leo. Maecenas lacinia. Nam ipsum ligula, eleifend at, accumsan nec, suscipit a, ipsum. Morbi blandit ligula feugiat magna. Nunc eleifend consequat lorem. Sed lacinia nulla vitae enim. Pellentesque tincidunt purus vel magna. Integer non enim. Praesent euismod nunc eu purus. Donec bibendum quam in tellus. Nullam cursus pulvinar lectus. Donec et mi. Nam vulputate metus eu enim. Vestibulum pellentesque felis eu massa.

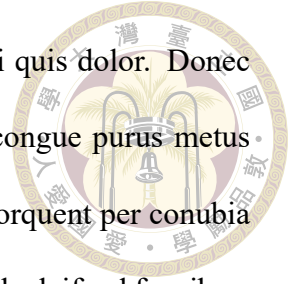
Quisque ullamcorper placerat ipsum. Cras nibh. Morbi vel justo vitae lacus tincidunt ultrices. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. In hac habitasse platea dictumst. Integer tempus convallis augue. Etiam facilisis. Nunc elementum fermentum wisi. Aenean placerat. Ut imperdiet, enim sed gravida sollicitudin, felis odio placerat quam, ac pulvinar elit purus eget enim. Nunc vitae tortor. Proin tempus nibh sit amet nisl. Vivamus quis tortor vitae risus porta vehicula.

Fusce mauris. Vestibulum luctus nibh at lectus. Sed bibendum, nulla a faucibus semper, leo velit ultricies tellus, ac venenatis arcu wisi vel nisl. Vestibulum diam. Aliquam pellentesque, augue quis sagittis posuere, turpis lacus congue quam, in hendrerit risus eros eget felis. Maecenas eget erat in sapien mattis porttitor. Vestibulum porttitor. Nulla facilisi. Sed a turpis eu lacus commodo facilisis. Morbi fringilla, wisi in dignissim interdum, justo lectus sagittis dui, et vehicula libero dui cursus dui. Mauris tempor ligula sed lacus. Duis cursus enim ut augue. Cras ac magna. Cras nulla. Nulla egestas. Curabitur a leo. Quisque egestas wisi eget nunc. Nam feugiat lacus vel est. Curabitur consectetur.

Suspendisse vel felis. Ut lorem lorem, interdum eu, tincidunt sit amet, laoreet vitae, arcu. Aenean faucibus pede eu ante. Praesent enim elit, rutrum at, molestie non, nonummy vel, nisl. Ut lectus eros, malesuada sit amet, fermentum eu, sodales cursus, magna. Donec eu purus. Quisque vehicula, urna sed ultricies auctor, pede lorem egestas dui, et convallis elit erat sed nulla. Donec luctus. Curabitur et nunc. Aliquam dolor odio, commodo pretium, ultricies non, pharetra in, velit. Integer arcu est, nonummy in, fermentum faucibus, egestas vel, odio.

Sed commodo posuere pede. Mauris ut est. Ut quis purus. Sed ac odio. Sed vehicula hendrerit sem. Duis non odio. Morbi ut dui. Sed accumsan risus eget odio. In hac habitasse platea dictumst. Pellentesque non elit. Fusce sed justo eu urna porta tincidunt.

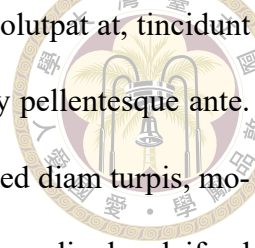
Mauris felis odio, sollicitudin sed, volutpat a, ornare ac, erat. Morbi quis dolor. Donec pellentesque, erat ac sagittis semper, nunc dui lobortis purus, quis congue purus metus ultricies tellus. Proin et quam. Class aptent taciti sociosqu ad litora torquent per conubia nostra, per inceptos hymenaeos. Praesent sapien turpis, fermentum vel, eleifend faucibus, vehicula eu, lacus.



5.2 Suggestion for future work

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Ut purus elit, vestibulum ut, placerat ac, adipiscing vitae, felis. Curabitur dictum gravida mauris. Nam arcu libero, nonummy eget, consectetur id, vulputate a, magna. Donec vehicula augue eu neque. Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Mauris ut leo. Cras viverra metus rhoncus sem. Nulla et lectus vestibulum urna fringilla ultrices. Phasellus eu tellus sit amet tortor gravida placerat. Integer sapien est, iaculis in, pretium quis, viverra ac, nunc. Praesent eget sem vel leo ultrices bibendum. Aenean faucibus. Morbi dolor nulla, malesuada eu, pulvinar at, mollis ac, nulla. Curabitur auctor semper nulla. Donec varius orci eget risus. Duis nibh mi, congue eu, accumsan eleifend, sagittis quis, diam. Duis eget orci sit amet orci dignissim rutrum.

Nam dui ligula, fringilla a, euismod sodales, sollicitudin vel, wisi. Morbi auctor lorem non justo. Nam lacus libero, pretium at, lobortis vitae, ultricies et, tellus. Donec aliquet, tortor sed accumsan bibendum, erat ligula aliquet magna, vitae ornare odio metus a mi. Morbi ac orci et nisl hendrerit mollis. Suspendisse ut massa. Cras nec ante. Pellentesque a nulla. Cum sociis natoque penatibus et magnis dis parturient montes, nascetur ridiculus mus. Aliquam tincidunt urna. Nulla ullamcorper vestibulum turpis. Pellentesque cursus luctus mauris.



Nulla malesuada porttitor diam. Donec felis erat, congue non, volutpat at, tincidunt tristique, libero. Vivamus viverra fermentum felis. Donec nonummy pellentesque ante. Phasellus adipiscing semper elit. Proin fermentum massa ac quam. Sed diam turpis, molestie vitae, placerat a, molestie nec, leo. Maecenas lacinia. Nam ipsum ligula, eleifend at, accumsan nec, suscipit a, ipsum. Morbi blandit ligula feugiat magna. Nunc eleifend consequat lorem. Sed lacinia nulla vitae enim. Pellentesque tincidunt purus vel magna. Integer non enim. Praesent euismod nunc eu purus. Donec bibendum quam in tellus. Nullam cursus pulvinar lectus. Donec et mi. Nam vulputate metus eu enim. Vestibulum pellentesque felis eu massa.

Quisque ullamcorper placerat ipsum. Cras nibh. Morbi vel justo vitae lacus tincidunt ultrices. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. In hac habitasse platea dictumst. Integer tempus convallis augue. Etiam facilisis. Nunc elementum fermentum wisi. Aenean placerat. Ut imperdiet, enim sed gravida sollicitudin, felis odio placerat quam, ac pulvinar elit purus eget enim. Nunc vitae tortor. Proin tempus nibh sit amet nisl. Vivamus quis tortor vitae risus porta vehicula.

Fusce mauris. Vestibulum luctus nibh at lectus. Sed bibendum, nulla a faucibus semper, leo velit ultricies tellus, ac venenatis arcu wisi vel nisl. Vestibulum diam. Aliquam pellentesque, augue quis sagittis posuere, turpis lacus congue quam, in hendrerit risus eros eget felis. Maecenas eget erat in sapien mattis porttitor. Vestibulum porttitor. Nulla facilisi. Sed a turpis eu lacus commodo facilisis. Morbi fringilla, wisi in dignissim interdum, justo lectus sagittis dui, et vehicula libero dui cursus dui. Mauris tempor ligula sed lacus. Duis cursus enim ut augue. Cras ac magna. Cras nulla. Nulla egestas. Curabitur a leo. Quisque egestas wisi eget nunc. Nam feugiat lacus vel est. Curabitur consectetur.

Suspendisse vel felis. Ut lorem lorem, interdum eu, tincidunt sit amet, laoreet vitae,

arcu. Aenean faucibus pede eu ante. Praesent enim elit, rutrum at, molestie non, nonummy vel, nisl. Ut lectus eros, malesuada sit amet, fermentum eu, sodales cursus, magna. Donec eu purus. Quisque vehicula, urna sed ultricies auctor, pede lorem egestas dui, et convallis elit erat sed nulla. Donec luctus. Curabitur et nunc. Aliquam dolor odio, commodo pretium, ultricies non, pharetra in, velit. Integer arcu est, nonummy in, fermentum faucibus, egestas vel, odio.

Sed commodo posuere pede. Mauris ut est. Ut quis purus. Sed ac odio. Sed vehicula hendrerit sem. Duis non odio. Morbi ut dui. Sed accumsan risus eget odio. In hac habitasse platea dictumst. Pellentesque non elit. Fusce sed justo eu urna porta tincidunt. Mauris felis odio, sollicitudin sed, volutpat a, ornare ac, erat. Morbi quis dolor. Donec pellentesque, erat ac sagittis semper, nunc dui lobortis purus, quis congue purus metus ultricies tellus. Proin et quam. Class aptent taciti sociosqu ad litora torquent per conubia nostra, per inceptos hymenaeos. Praesent sapien turpis, fermentum vel, eleifend faucibus, vehicula eu, lacus.

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Ut purus elit, vestibulum ut, placerat ac, adipiscing vitae, felis. Curabitur dictum gravida mauris. Nam arcu libero, nonummy eget, consectetur id, vulputate a, magna. Donec vehicula augue eu neque. Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Mauris ut leo. Cras viverra metus rhoncus sem. Nulla et lectus vestibulum urna fringilla ultrices. Phasellus eu tellus sit amet tortor gravida placerat. Integer sapien est, iaculis in, pretium quis, viverra ac, nunc. Praesent eget sem vel leo ultrices bibendum. Aenean faucibus. Morbi dolor nulla, malesuada eu, pulvinar at, mollis ac, nulla. Curabitur auctor semper nulla. Donec varius orci eget risus. Duis nibh mi, congue eu, accumsan eleifend, sagittis quis, diam. Duis eget orci sit amet orci dignissim rutrum.

Nam dui ligula, fringilla a, euismod sodales, sollicitudin vel, wisi. Morbi auctor lorem non justo. Nam lacus libero, pretium at, lobortis vitae, ultricies et, tellus. Donec aliquet, tortor sed accumsan bibendum, erat ligula aliquet magna, vitae ornare odio metus a mi. Morbi ac orci et nisl hendrerit mollis. Suspendisse ut massa. Cras nec ante. Pellentesque a nulla. Cum sociis natoque penatibus et magnis dis parturient montes, nascetur ridiculus mus. Aliquam tincidunt urna. Nulla ullamcorper vestibulum turpis. Pellentesque cursus luctus mauris.

Nulla malesuada porttitor diam. Donec felis erat, congue non, volutpat at, tincidunt tristique, libero. Vivamus viverra fermentum felis. Donec nonummy pellentesque ante. Phasellus adipiscing semper elit. Proin fermentum massa ac quam. Sed diam turpis, molestie vitae, placerat a, molestie nec, leo. Maecenas lacinia. Nam ipsum ligula, eleifend at, accumsan nec, suscipit a, ipsum. Morbi blandit ligula feugiat magna. Nunc eleifend consequat lorem. Sed lacinia nulla vitae enim. Pellentesque tincidunt purus vel magna. Integer non enim. Praesent euismod nunc eu purus. Donec bibendum quam in tellus. Nullam cursus pulvinar lectus. Donec et mi. Nam vulputate metus eu enim. Vestibulum pellentesque felis eu massa.

Quisque ullamcorper placerat ipsum. Cras nibh. Morbi vel justo vitae lacus tincidunt ultrices. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. In hac habitasse platea dictumst. Integer tempus convallis augue. Etiam facilisis. Nunc elementum fermentum wisi. Aenean placerat. Ut imperdiet, enim sed gravida sollicitudin, felis odio placerat quam, ac pulvinar elit purus eget enim. Nunc vitae tortor. Proin tempus nibh sit amet nisl. Vivamus quis tortor vitae risus porta vehicula.

Fusce mauris. Vestibulum luctus nibh at lectus. Sed bibendum, nulla a faucibus semper, leo velit ultricies tellus, ac venenatis arcu wisi vel nisl. Vestibulum diam. Aliquam

pellentesque, augue quis sagittis posuere, turpis lacus congue quam, in hendrerit risus eros
eget felis. Maecenas eget erat in sapien mattis porttitor. Vestibulum porttitor. Nulla faci-
lisi. Sed a turpis eu lacus commodo facilisis. Morbi fringilla, wisi in dignissim interdum,
justo lectus sagittis dui, et vehicula libero dui cursus dui. Mauris tempor ligula sed lacus.
Duis cursus enim ut augue. Cras ac magna. Cras nulla. Nulla egestas. Curabitur a leo.
Quisque egestas wisi eget nunc. Nam feugiat lacus vel est. Curabitur consectetur.


Suspendisse vel felis. Ut lorem lorem, interdum eu, tincidunt sit amet, laoreet vitae,
arcu. Aenean faucibus pede eu ante. Praesent enim elit, rutrum at, molestie non, nonummy
vel, nisl. Ut lectus eros, malesuada sit amet, fermentum eu, sodales cursus, magna. Donec
eu purus. Quisque vehicula, urna sed ultricies auctor, pede lorem egestas dui, et convallis
elit erat sed nulla. Donec luctus. Curabitur et nunc. Aliquam dolor odio, commodo pre-
tium, ultricies non, pharetra in, velit. Integer arcu est, nonummy in, fermentum faucibus,
egestas vel, odio.

Sed commodo posuere pede. Mauris ut est. Ut quis purus. Sed ac odio. Sed vehi-
cula hendrerit sem. Duis non odio. Morbi ut dui. Sed accumsan risus eget odio. In hac
habitasse platea dictumst. Pellentesque non elit. Fusce sed justo eu urna porta tincidunt.
Mauris felis odio, sollicitudin sed, volutpat a, ornare ac, erat. Morbi quis dolor. Donec
pellentesque, erat ac sagittis semper, nunc dui lobortis purus, quis congue purus metus
ultricies tellus. Proin et quam. Class aptent taciti sociosqu ad litora torquent per conubia
nostra, per inceptos hymenaeos. Praesent sapien turpis, fermentum vel, eleifend faucibus,
vehicula eu, lacus.

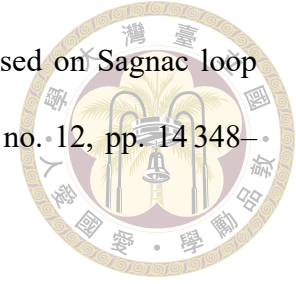


References

- [1] R. Kashyap, "Theory of Fiber Bragg Gratings," in *Fiber Bragg Gratings*, 2nd ed., R. Kashyap, Ed. Academic Press, 2010, ch. 4, pp. 119–187. ISBN 978-0-12-372579-0 doi: [10.1016/B978-0-12-372579-0.00004-1](https://doi.org/10.1016/B978-0-12-372579-0.00004-1).
- [2] M. Smit and C. Van Dam, "PHASAR-based WDM-devices: Principles, design and applications," *IEEE J. Sel. Topics Quantum Electron.*, vol. 2, no. 2, pp. 236–250, June 1996, doi: [10.1109/2944.577370](https://doi.org/10.1109/2944.577370).
- [3] M. Smit, "New focusing and dispersive planar component based on an optical phased array," *Electron. Lett.*, vol. 24, no. 7, pp. 385–386, Mar. 1988, doi: [10.1049/el:19880260](https://doi.org/10.1049/el:19880260).
- [4] M. Amersfoort *et al.*, "Passband broadening of integrated arrayed waveguide filters using multimode interference couplers," *Electron. Lett.*, vol. 32, no. 5, pp. 449–451, Feb. 1996, doi: [10.1049/el:19960344](https://doi.org/10.1049/el:19960344).
- [5] P. M. noz *et al.*, "Analysis and design of arrayed waveguide gratings with MMI couplers," *Opt. Exp.*, vol. 9, no. 7, pp. 328–338, Sep. 2001, doi: [10.1364/OE.9.000328](https://doi.org/10.1364/OE.9.000328).
- [6] J. Soole *et al.*, "Use of multimode interference couplers to broaden the passband of wavelength-dispersive integrated WDM filters," *IEEE Photon. Technol. Lett.*, vol. 8, no. 10, pp. 1340–1342, Oct. 1996, doi: [10.1109/68.536648](https://doi.org/10.1109/68.536648).

- 
- [7] S. Pathak *et al.*, “Optimized Silicon AWG With Flattened Spectral Response Using an MMI Aperture,” *J. Lightw. Technol.*, vol. 31, no. 1, pp. 87–93, Jan. 2013, doi: [10.1109/JLT.2012.2231399](https://doi.org/10.1109/JLT.2012.2231399).
- [8] S. Pathak *et al.*, “Compact SOI-based AWG with flattened spectral response using a MMI,” in *8th IEEE International Conference on Group IV Photonics*, Sep. 2011, Conference Proceedings, pp. 45–47. ISBN 1949-209X doi: [10.1109/GROUP4.2011.6053710](https://doi.org/10.1109/GROUP4.2011.6053710).
- [9] J.-H. Jung, “Optimization for Arrayed Waveguide Grating having MMI Coupler for Flattened Transfer Function,” *J. Opt. Soc. Korea*, vol. 10, no. 4, pp. 169–173, Dec. 2006.
- [10] Y. Zheng *et al.*, “Design of 4-channel AWG Multiplexer/demultiplexer for CWDM system,” *Optik*, vol. 201, p. 163513, Jan. 2020, doi: [10.1016/j.ijleo.2019.163513](https://doi.org/10.1016/j.ijleo.2019.163513).
- [11] K. Okamoto and A. Sugita, “Flat spectral response arrayed-waveguide grating multiplexer with parabolic waveguide horns,” *Electron. Lett.*, vol. 32, no. 18, pp. 1661–1662, Aug. 1996, doi: [10.1049/el:19961108](https://doi.org/10.1049/el:19961108).
- [12] C. Henry *et al.*, “Glass waveguides on silicon for hybrid optical packaging,” *J. Lightw. Technol.*, vol. 7, no. 10, pp. 1530–1539, Oct. 1989, doi: [10.1109/50.39094](https://doi.org/10.1109/50.39094).
- [13] Q. Lai *et al.*, “Simple technologies for fabrication of low-loss silica waveguides,” *Electron. Lett.*, vol. 28, pp. 1000–1001, May 1992, doi: [10.1049/el:19920635](https://doi.org/10.1049/el:19920635).
- [14] K. Okamoto and H. Yamada, “Arrayed-waveguide grating multiplexer with flat spectral response,” *Opt. Lett.*, vol. 20, no. 1, pp. 43–45, Jan. 1995, doi: [10.1364/OL.20.000043](https://doi.org/10.1364/OL.20.000043).

[15] B. Gargallo *et al.*, “Reflective arrayed waveguide gratings based on Sagnac loop reflectors with custom spectral response,” *Opt. Exp.*, vol. 22, no. 12, pp. 14 348–14 362, June 2014, doi: [10.1364/OE.22.014348](https://doi.org/10.1364/OE.22.014348).



[16] K. Okamoto and H. Yamada, “Arrayed-waveguide grating multiplexer with flat spectral response,” *Opt. Lett.*, vol. 20, no. 1, pp. 43–45, Jan. 1995, doi: [10.1364/OL.20.000043](https://doi.org/10.1364/OL.20.000043).

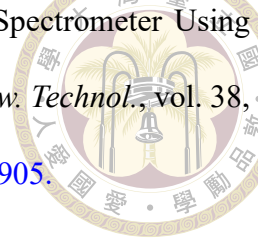
[17] C. Dragone, “Efficient techniques for widening the passband of a wavelength router,” *J. Lightw. Technol.*, vol. 16, no. 10, pp. 1895–1906, Oct. 1998, doi: [10.1109/50.721078](https://doi.org/10.1109/50.721078).

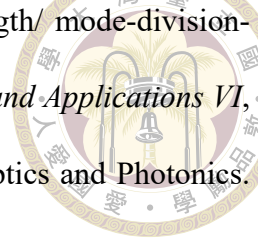
[18] K. Takada *et al.*, “Measurement of phase error distributions in silica-based arrayed-waveguide grating multiplexers by using Fourier transform spectroscopy,” *Electron. Lett.*, vol. 30, no. 20, pp. 1671–1672, Sep. 1994, doi: [10.1049/el:19941113](https://doi.org/10.1049/el:19941113).


[19] S. Pathak *et al.*, “Compact SOI-based polarization diversity wavelength demultiplexer circuit using two symmetric AWGs,” *Opt. Exp.*, vol. 20, no. 26, pp. B493–B500, Dec. 2012, doi: [10.1364/OE.20.00B493](https://doi.org/10.1364/OE.20.00B493).

[20] S. Pathak *et al.*, “Effect of Mask Discretization on Performance of Silicon Arrayed Waveguide Gratings,” *IEEE Photon. Technol. Lett.*, vol. 26, no. 7, pp. 718–721, Apr. 2014, doi: [10.1109/LPT.2014.2303793](https://doi.org/10.1109/LPT.2014.2303793).

[21] J. Zou *et al.*, “Novel Wavelength Multiplexer Using $(N + 1) \times (N + 1)$ Arrayed Waveguide Grating and Polarization-Combiner-Rotator on SOI Platform,” *J. Lightw. Technol.*, vol. 39, no. 8, pp. 2431–2437, Apr. 2021, doi: [10.1109/JLT.2021.3053837](https://doi.org/10.1109/JLT.2021.3053837).

- 
- [22] J. Zou *et al.*, “High Resolution and Ultra-Compact On-Chip Spectrometer Using Bidirectional Edge-Input Arrayed Waveguide Grating,” *J. Lightw. Technol.*, vol. 38, no. 16, pp. 4447–4453, Aug. 2020, doi: [10.1109/JLT.2020.2992905](https://doi.org/10.1109/JLT.2020.2992905).
- [23] S. Pathak *et al.*, “Design trade-offs for silicon-on-insulator-based AWGs for (de)multiplexer applications,” *Opt. Lett.*, vol. 38, no. 16, pp. 2961–2964, Aug. 2013, doi: [10.1364/OL.38.002961](https://doi.org/10.1364/OL.38.002961).
- [24] A. Malik *et al.*, “Germanium-on-Silicon Mid-Infrared Arrayed Waveguide Grating Multiplexers,” *IEEE Photon. Technol. Lett.*, vol. 25, no. 18, pp. 1805–1808, Sep. 2013, doi: [10.1109/LPT.2013.2276479](https://doi.org/10.1109/LPT.2013.2276479).
- [25] D. Martens *et al.*, “Compact Silicon Nitride Arrayed Waveguide Gratings for Very Near-Infrared Wavelengths,” *IEEE Photon. Technol. Lett.*, vol. 27, no. 2, pp. 137–140, Jan. 2015, doi: [10.1109/LPT.2014.2363298](https://doi.org/10.1109/LPT.2014.2363298).
- [26] D. Melati *et al.*, “Compact and Low Crosstalk Echelle Grating Demultiplexer on Silicon-On-Insulator Technology,” *Electronics*, vol. 8, no. 6, p. 687, June 2019, doi: [10.3390/electronics8060687](https://doi.org/10.3390/electronics8060687).
- [27] T. D. Bucio *et al.*, “Silicon Nitride Photonics for the Near-Infrared,” *IEEE J. Sel. Topics Quantum Electron.*, vol. 26, no. 2, pp. 1–13, Sep. 2020, doi: [10.1109/jstqe.2019.2934127](https://doi.org/10.1109/jstqe.2019.2934127).
- [28] D. Dai *et al.*, “Multimode silicon photonic devices,” in *Integrated Optics: Devices, Materials, and Technologies XXV*, S. M. García-Blanco and P. Cheben, Eds., vol. 11689, International Society for Optics and Photonics. SPIE, Mar. 2021, p. 116890N, doi: [10.1117/12.2577026](https://doi.org/10.1117/12.2577026).

- 
- [29] D. Dai *et al.*, “Silicon photonic devices for wavelength/ mode-division-multiplexing,” in *Integrated Optics: Design, Devices, Systems and Applications VI*, P. Cheben *et al.*, Eds., vol. 11775, International Society for Optics and Photonics. SPIE, Apr. 2021, p. 117750E, doi: [10.1117/12.2588925](https://doi.org/10.1117/12.2588925).
- [30] J. Jiang *et al.*, “Silicon lateral-apodized add-drop filter for on-chip optical interconnection,” *Appl. Opt.*, vol. 56, no. 30, pp. 8425–8429, Oct. 2017, doi: [10.1364/AO.56.008425](https://doi.org/10.1364/AO.56.008425).
- [31] N. Saha *et al.*, “Tunable narrow band add-drop filter design based on apodized long period waveguide grating assisted co-directional coupler,” *Opt. Exp.*, vol. 30, no. 16, pp. 28 632–28 646, Aug. 2022, doi: [10.1364/OE.461876](https://doi.org/10.1364/OE.461876).
- [32] S. Kumar *et al.*, “Side-lobe reduction by cascading Bragg grating filters on a Si-photonic chip,” *Opt. Exp.*, vol. 30, no. 6, pp. 9983–9991, Mar. 2022, doi: [10.1364/OE.446588](https://doi.org/10.1364/OE.446588).
- [33] L. Liu *et al.*, “Dual Functional WDM Devices for Multiplexing and De-multiplexing on Silicon-on-Insulator,” in *The International Photonics and Optoelectronics Meeting 2017*, ser. OSA Technical Digest (online). Optical Society of America, Nov. 2017, Conference Proceedings, p. AS3A.25, doi: [10.1364/ASA.2017.AS3A.25](https://doi.org/10.1364/ASA.2017.AS3A.25).
- [34] G. Chen *et al.*, “Four-channel CWDM device on a thin-film lithium niobate platform using an angled multimode interferometer structure,” *Photonics Res.*, vol. 10, no. 1, pp. 8–13, Jan. 2022, doi: [10.1364/prj.438816](https://doi.org/10.1364/prj.438816).
- [35] Y. Hu *et al.*, “Wavelength division (de)multiplexing based on dispersive self-imaging,” *Opt. Lett.*, vol. 36, no. 23, pp. 4488–4490, Dec. 2011, doi: [10.1364/OL.36.004488](https://doi.org/10.1364/OL.36.004488).

- 
- [36] T. D. Bucio *et al.*, “N-rich silicon nitride angled MMI for coarse wavelength division (de)multiplexing in the O-band,” *Opt. Lett.*, vol. 43, no. 6, pp. 1251–1254, Mar. 2018, doi: [10.1364/ol.43.001251](https://doi.org/10.1364/ol.43.001251).
- [37] Q. Wilmart *et al.*, “A Versatile Silicon-Silicon Nitride Photonics Platform for Enhanced Functionalities and Applications,” *Appl. Sci.*, vol. 9, no. 2, p. 255, Jan. 2019, doi: [10.3390/app9020255](https://doi.org/10.3390/app9020255).
- [38] Q. Wilmart *et al.*, “Si-SiN Photonic Platform for CWDM Applications,” in *2018 IEEE 15th International Conference on Group IV Photonics (GFP)*, Aug. 2018, Conference Proceedings, pp. 1–2. ISBN 1949-209X doi: [10.1109/GROUP4.2018.8478747](https://doi.org/10.1109/GROUP4.2018.8478747).
- [39] Y. Zheng *et al.*, “Compact low-loss low-crosstalk echelle grating demultiplexer on silicon-on-insulator for CWDM,” *Optik*, vol. 249, p. 168236, 2022, doi: [10.1016/j.ijleo.2021.168236](https://doi.org/10.1016/j.ijleo.2021.168236).
- [40] J. Chen and Y. Shi, “Flat-Top CWDM (De)Multiplexers Based on Contradirectional Couplers With Subwavelength Gratings,” *IEEE Photon. Technol. Lett.*, vol. 31, no. 24, pp. 2003–2006, Nov. 2019, doi: [10.1109/LPT.2019.2953379](https://doi.org/10.1109/LPT.2019.2953379).
- [41] D. Liu *et al.*, “Four-Channel CWDM (de)Multiplexers Using Cascaded Multimode Waveguide Gratings,” *IEEE Photon. Technol. Lett.*, vol. 32, no. 4, pp. 192–195, Feb. 2020, doi: [10.1109/LPT.2020.2966073](https://doi.org/10.1109/LPT.2020.2966073).
- [42] Y. Liu *et al.*, “C-band four-channel CWDM (de-)multiplexers on a thin film lithium niobate–silicon rich nitride hybrid platform,” *Opt. Lett.*, vol. 46, no. 19, pp. 4726–4729, Oct. 2021, doi: [10.1364/OL.437681](https://doi.org/10.1364/OL.437681).

[43] Y. Zhao *et al.*, “Multi-Channel WDM (De)Multiplexer Based on Multimode Contra-Directional Coupling Using Dielectric Etches,” in *Asia Communications and Photonics Conference/International Conference on Information Photonics and Optical Communications 2020 (ACP/IPOC)*, ser. OSA Technical Digest. Optical Society of America, Oct. 2020, Conference Proceedings, p. M4A.178, doi: [10.1364/ACPC.2020.M4A.178](https://doi.org/10.1364/ACPC.2020.M4A.178).

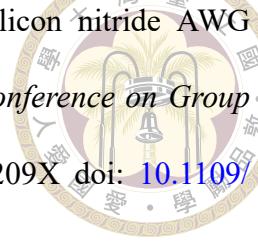
[44] E. Zubkova *et al.*, “CWDM demultiplexer using anti-reflection, contra-directional couplers based on silicon nitride rib waveguide,” *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 1410, no. 1, p. 012179, Dec. 2019, doi: [10.1088/1742-6596/1410/1/012179](https://doi.org/10.1088/1742-6596/1410/1/012179).

[45] W. Shi *et al.*, “Ultra-compact, flat-top demultiplexer using anti-reflection contra-directional couplers for CWDM networks on silicon,” *Opt. Exp.*, vol. 21, no. 6, pp. 6733–6738, Mar. 2013, doi: [10.1364/OE.21.006733](https://doi.org/10.1364/OE.21.006733).

[46] S. Cheung and M. R. T. Tan, “Ultra-low loss and fabrication tolerant silicon nitride (Si_3N_4) (de-)muxes for 1- μm CWDM optical interconnects,” in *Optical Fiber Communication Conference (OFC) 2020*. Optica Publishing Group, 2020, p. M3F.6, doi: [10.1364/OFC.2020.M3F.6](https://doi.org/10.1364/OFC.2020.M3F.6).

[47] S. S. Cheung and M. R. T. Tan, “Silicon Nitride (Si_3N_4) (De-)Multiplexers for 1- μm CWDM Optical Interconnects,” *J. Lightw. Technol.*, vol. 38, no. 13, pp. 3404–3413, Nov. 2020, doi: [10.1364/JLT.38.003404](https://doi.org/10.1364/JLT.38.003404).

[48] P. Pan *et al.*, “Compact 4-channel AWGs for CWDM and LAN WDM in data center monolithic applications,” *Opt. Laser Technol.*, vol. 75, pp. 177–181, Dec. 2015, doi: [10.1016/j.optlastec.2015.07.005](https://doi.org/10.1016/j.optlastec.2015.07.005).

- 
- [49] S. Guerber *et al.*, “Design and integration of an O-band silicon nitride AWG for CWDM applications,” in *2017 IEEE 14th International Conference on Group IV Photonics (GFP)*, Aug. 2017, pp. 133–134. ISSN 1949-209X doi: [10.1109/GROUP4.2017.8082232](https://doi.org/10.1109/GROUP4.2017.8082232).
- [50] S. Guerber *et al.*, “Polarization independent and temperature tolerant AWG based on a silicon nitride platform,” *Opt. Lett.*, vol. 45, no. 23, p. 6559, Dec. 2020, doi: [10.1364/ol.411332](https://doi.org/10.1364/ol.411332).
- [51] C. R. Doerr *et al.*, “Eight-Channel SiO₂/Si₃N₄/Si/Ge CWDM Receiver,” *IEEE Photon. Technol. Lett.*, vol. 23, no. 17, pp. 1201–1203, Sep. 2011, doi: [10.1109/LPT.2011.2158091](https://doi.org/10.1109/LPT.2011.2158091).
- [52] H. Xu and Y. Shi, “Flat-Top CWDM (De)Multiplexer Based on MZI With Bent Directional Couplers,” *IEEE Photon. Technol. Lett.*, vol. 30, no. 2, pp. 169–172, Jan. 2018, doi: [10.1109/LPT.2017.2779489](https://doi.org/10.1109/LPT.2017.2779489).
- [53] H. Xu *et al.*, “Low-crosstalk and fabrication-tolerant four-channel CWDM filter based on dispersion-engineered Mach-Zehnder interferometers,” *Opt. Exp.*, vol. 29, no. 13, pp. 20 617–20 631, June 2021, doi: [10.1364/oe.428352](https://doi.org/10.1364/oe.428352).
- [54] J. Y. Lee *et al.*, “Fabrication-Tolerant Nitride Lattice Filter for CWDM,” in *Optical Fiber Communication Conference (OFC) 2021*, ser. OSA Technical Digest, P. K. J. X. C. C. R. C. C. Dong and M. Li, Eds. Optical Society of America, Jan. 2021, Conference Proceedings, p. Tu5B.2, doi: [10.1364/OFC.2021.Tu5B.2](https://doi.org/10.1364/OFC.2021.Tu5B.2).
- [55] T. H. Yen and Y. J. Hung, “Fabrication-Tolerant CWDM (de)Multiplexer Based on Cascaded Mach-Zehnder Interferometers on Silicon-on-Insulator,” *J. Lightw. Technol.*, vol. 39, no. 1, pp. 146–153, Jan. 2021, doi: [10.1109/JLT.2020.3026314](https://doi.org/10.1109/JLT.2020.3026314).

[56] J. C. Mikkelsen *et al.*, “Polarization-insensitive silicon nitride Mach-Zehnder lattice wavelength demultiplexers for CWDM in the O-band,” *Opt. Exp.*, vol. 26, no. 23, pp. 30 076–30 084, Nov. 2018, doi: [10.1364/oe.26.030076](https://doi.org/10.1364/oe.26.030076).



[57] H. Xu *et al.*, “Polarization-insensitive four-channel coarse wavelength-division (de)multiplexer based on Mach-Zehnder interferometers with bent directional couplers and polarization rotators,” *Opt. Lett.*, vol. 43, no. 7, pp. 1483–1486, Apr. 2018, doi: [10.1364/OL.43.001483](https://doi.org/10.1364/OL.43.001483).

[58] X. Jiang *et al.*, “Compact CWDM interleaver based on an interfering loop containing a one-dimensional Fabry-Perot cavity,” *Opt. Lett.*, vol. 43, no. 5, pp. 1071–1074, Mar. 2018, doi: [10.1364/OL.43.001071](https://doi.org/10.1364/OL.43.001071).

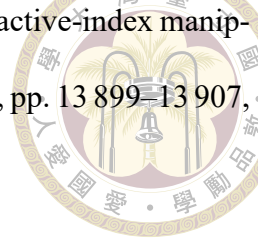
[59] J. R. Ong *et al.*, “Wafer-Level Characterization of Silicon Nitride CWDM (De)Multiplexers Using Bayesian Inference,” *IEEE Photon. Technol. Lett.*, vol. 32, no. 15, pp. 917–920, Aug. 2020, doi: [10.1109/LPT.2020.3004850](https://doi.org/10.1109/LPT.2020.3004850).


[60] G. Gao *et al.*, “Silicon nitride O-band (de)multiplexers with low thermal sensitivity,” *Opt. Exp.*, vol. 25, no. 11, p. 12260, May 2017, doi: [10.1364/oe.25.012260](https://doi.org/10.1364/oe.25.012260).

[61] D. Liu *et al.*, “Silicon photonic filters,” *Microw. and Opt. Technol. Lett.*, vol. 63, no. 9, pp. 2252–2268, July 2020, doi: [10.1002/mop.32509](https://doi.org/10.1002/mop.32509).

[62] T. Baehr-Jones *et al.*, “Myths and rumours of silicon photonics,” *Nature Photon.*, vol. 6, no. 4, pp. 206–208, Mar. 2012, doi: [10.1038/nphoton.2012.66](https://doi.org/10.1038/nphoton.2012.66).

[63] L. Benini and G. D. Micheli, “Networks on chips: a new SoC paradigm,” *Computer*, vol. 35, no. 1, pp. 70–78, Jan. 2002, doi: [10.1109/2.976921](https://doi.org/10.1109/2.976921).

- 
- [64] Z. Wang *et al.*, “Compact silicon three-mode multiplexer by refractive-index manipulation on a multi-mode interferometer,” *Opt. Exp.*, vol. 29, no. 9, pp. 13 899–13 907, Apr. 2021, doi: [10.1364/OE.423973](https://doi.org/10.1364/OE.423973).
- [65] L. Chrostowski *et al.*, “Silicon photonic resonator sensors and devices,” in *Laser Resonators, Microresonators, and Beam Control XIV*, A. V. Kudryashov *et al.*, Eds., vol. 8236, International Society for Optics and Photonics. SPIE, Feb. 2012, p. 823620, doi: [10.1117/12.916860](https://doi.org/10.1117/12.916860).
- [66] D. Dai, “Advanced Passive Silicon Photonic Devices With Asymmetric Waveguide Structures,” *Proc. IEEE*, vol. 106, no. 12, pp. 2117–2143, May 2018, doi: [10.1109/JPROC.2018.2822787](https://doi.org/10.1109/JPROC.2018.2822787).
- [67] D. Dai *et al.*, “10-Channel Mode (de)multiplexer with Dual Polarizations,” *Laser Photon. Rev*, vol. 12, no. 1, p. 1700109, Jan. 2018, doi: [10.1002/lpor.201700109](https://doi.org/10.1002/lpor.201700109).
- [68] M. Ma *et al.*, “Sub-wavelength grating-assisted polarization splitter-rotators for silicon-on-insulator platforms,” *Opt. Exp.*, vol. 27, no. 13, pp. 17 581–17 591, June 2019, doi: [10.1364/OE.27.017581](https://doi.org/10.1364/OE.27.017581).
- [69] G. B. d. Farias *et al.*, “Demonstration of a low-loss and broadband Polarization Splitter-Rotator with a Polysilicon waveguide in SOI platform,” in *2019 SBFoton International Optics and Photonics Conference (SBFoton IOPC)*, Oct. 2019, Conference Proceedings, pp. 1–5, doi: [10.1109/SBFoton-IOPC.2019.8910218](https://doi.org/10.1109/SBFoton-IOPC.2019.8910218).
- [70] W. Lee *et al.*, “Coherent terahertz wireless communication using dual-parallel MZM-based silicon photonic integrated circuits,” *Opt. Exp.*, vol. 30, no. 2, pp. 2547–2563, Jan. 2022, doi: [10.1364/OE.446516](https://doi.org/10.1364/OE.446516).

- 
- [71] N.-N. Feng *et al.*, “High speed carrier-depletion modulators with $1.4\text{V-cm V}\pi\text{L}$ integrated on $0.25\mu\text{m}$ silicon-on-insulator waveguides,” *Opt. Exp.*, vol. 18, no. 8, pp. 7994–7999, Apr. 2010, doi: [10.1364/OE.18.007994](https://doi.org/10.1364/OE.18.007994).
- [72] P. Fu *et al.*, “Optimization for Ultrabroadband Polarization Beam Splitters Using a Genetic Algorithm,” *IEEE Photon. J.*, vol. 11, no. 1, pp. 1–11, Feb. 2019, doi: [10.1109/JPHOT.2018.2887096](https://doi.org/10.1109/JPHOT.2018.2887096).
- [73] P.-H. Fu *et al.*, “Broadband optical waveguide couplers with arbitrary coupling ratios designed using a genetic algorithm,” *Opt. Exp.*, vol. 24, no. 26, pp. 30 547–30 561, Dec. 2016, doi: [10.1364/OE.24.030547](https://doi.org/10.1364/OE.24.030547).
- [74] C. Ye and D. Dai, “Ultra-Compact Broadband 2×2 3 dB Power Splitter Using a Subwavelength-Grating-Assisted Asymmetric Directional Coupler,” *J. Lightw. Technol.*, vol. 38, no. 8, pp. 2370–2375, Apr. 2020, doi: [10.1109/jlt.2020.2973663](https://doi.org/10.1109/jlt.2020.2973663).
- [75] J. Wang *et al.*, “Novel ultra-broadband polarization splitter-rotator based on mode-evolution tapers and a mode-sorting asymmetric Y-junction,” *Opt. Exp.*, vol. 22, no. 11, pp. 13 565–13 571, June 2014, doi: [10.1364/OE.22.013565](https://doi.org/10.1364/OE.22.013565).
- [76] H. Guan *et al.*, “CMOS-compatible highly efficient polarization splitter and rotator based on a double-etched directional coupler,” *Opt. Exp.*, vol. 22, no. 3, pp. 2489–2496, Feb. 2014, doi: [10.1364/OE.22.002489](https://doi.org/10.1364/OE.22.002489).
- [77] H. Guan *et al.*, “High-Efficiency Biwavelength Polarization Splitter-Rotator on the SOI Platform,” *IEEE Photon. Technol. Lett.*, vol. 27, no. 5, pp. 518–521, Mar. 2015, doi: [10.1109/LPT.2014.2384451](https://doi.org/10.1109/LPT.2014.2384451).

[78] X. Wang *et al.*, “Precise control of the coupling coefficient through destructive interference in silicon waveguide Bragg gratings,” *Opt. Lett.*, vol. 39, no. 19, pp. 5519–5522, Oct. 2014, doi: [10.1364/OL.39.005519](https://doi.org/10.1364/OL.39.005519).



[79] X. Guan *et al.*, “Low-loss ultracompact transverse-magnetic-pass polarizer with a silicon subwavelength grating waveguide,” *Opt. Lett.*, vol. 39, no. 15, pp. 4514–4517, Aug. 2014, doi: [10.1364/OL.39.004514](https://doi.org/10.1364/OL.39.004514).

[80] Y. C. Tu *et al.*, “High-Efficiency Ultra-Broadband Multi-Tip Edge Couplers for Integration of Distributed Feedback Laser With Silicon-on-Insulator Waveguide,” *IEEE Photon. J.*, vol. 11, no. 4, pp. 1–13, June 2019, doi: [10.1109/JPHOT.2019.2924477](https://doi.org/10.1109/JPHOT.2019.2924477).

[81] W. Liu *et al.*, “High Efficiency Silicon Edge Coupler Based On Uniform Arrayed Waveguides With Un-Patterned Cladding,” *IEEE Photon. Technol. Lett.*, vol. 32, no. 17, pp. 1077–1080, Sep. 2020, doi: [10.1109/LPT.2020.3011188](https://doi.org/10.1109/LPT.2020.3011188).

[82] B. Chen *et al.*, “Two-dimensional grating coupler on silicon with a high coupling efficiency and a low polarization-dependent loss,” *Opt. Exp.*, vol. 28, no. 3, pp. 4001–4009, Feb. 2020, doi: [10.1364/OE.380338](https://doi.org/10.1364/OE.380338).

[83] Y. Liu *et al.*, “Thermo-Optic Tunable Silicon Arrayed Waveguide Grating at 2- μ m Wavelength Band,” *IEEE Photon. J.*, vol. 12, no. 4, pp. 1–8, Aug. 2020, doi: [10.1109/JPHOT.2020.3001595](https://doi.org/10.1109/JPHOT.2020.3001595).

[84] Y. Yang *et al.*, “Thermo-Optically Tunable Silicon AWG With Above 600 GHz Channel Tunability,” *IEEE Photon. Technol. Lett.*, vol. 27, no. 22, pp. 2351–2354, Nov. 2015, doi: [10.1109/LPT.2015.2464073](https://doi.org/10.1109/LPT.2015.2464073).

[85] J. Zou *et al.*, “Performance improvement for silicon-based arrayed waveguide grating router,” *Opt. Exp.*, vol. 25, no. 9, pp. 9963–9973, May 2017, doi: [10.1364/OE.25.009963](https://doi.org/10.1364/OE.25.009963).



[86] M. Lelit *et al.*, “Passive Photonic Integrated Circuits Elements Fabricated on a Silicon Nitride Platform,” *Materials*, vol. 15, no. 4, p. 1398, Feb. 2022, doi: [10.3390/ma15041398](https://doi.org/10.3390/ma15041398).

[87] M. Kohtoku *et al.*, “Packaged polarization-insensitive WDM monitor with low loss (7.3 dB) and wide tuning range (4.5 nm),” *IEEE Photon. Technol. Lett.*, vol. 10, no. 11, pp. 1614–1616, Nov. 1998, doi: [10.1109/68.726767](https://doi.org/10.1109/68.726767).

[88] S. Toyoda *et al.*, “Polarization-independent low-crosstalk polymeric AWG-based tunable filter operating around 1.55 μm ,” *IEEE Photon. Technol. Lett.*, vol. 11, no. 9, pp. 1141–1143, Sep. 1999, doi: [10.1109/68.784229](https://doi.org/10.1109/68.784229).

[89] H.-m. Zhang *et al.*, “Thermo-optically tunable arrayed-waveguide-grating made of polymer/Si,” *Optoelectron. Lett.*, vol. 2, no. 4, pp. 243–245, 2006.

[90] J. Dieckroger *et al.*, “Thermooptically tunable optical phased array in SiO_2 -Si,” *IEEE Photon. Technol. Lett.*, vol. 11, no. 2, pp. 248–250, Feb. 1999, doi: [10.1109/68.740719](https://doi.org/10.1109/68.740719).

[91] K. Okamoto, “Beam Propagation Method,” in *Fundamentals of Optical Waveguides*, 3rd ed., K. Okamoto, Ed. Academic Press, 2022, ch. 7, pp. 339–407. ISBN 978-0-12-815601-8 doi: [10.1016/B978-0-12-815601-8.50007-0](https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815601-8.50007-0).

[92] L. Inc., “MODE – Finite Difference Eigenmode (FDE) solver introduction.” [Online]. Available: <https://optics.ansys.com/hc/en-us/articles/>

[360034917233-MODE-Finite-Difference-Eigenmode-FDE-solver-introduction](#)

(Accessed Aug. 2022).



- [93] Z. Zhu and T. G. Brown, “Full-vectorial finite-difference analysis of microstructured optical fibers,” *Opt. Exp.*, vol. 10, no. 17, pp. 853–864, Aug. 2002, doi: [10.1364/OE.10.000853](#).
- [94] A. Taflove *et al.*, “Computational electromagnetics: the finite-difference time-domain method,” *The Electrical Engineering Handbook*, vol. 3, pp. 629–670, 2005.
- [95] L. Inc., “Finite Difference Time Domain (FDTD) solver introduction.” [Online]. Available: <https://optics.ansys.com/hc/en-us/articles/360034914633-Finite-Difference-Time-Domain-FDTD-solver-introduction> (Accessed Aug. 2022).
- [96] S. Kim and M. Qi, “Post-fabrication trimming on silicon nitride photonic Bragg grating add-drop filter,” in *Frontiers in Optics 2014*, ser. OSA Technical Digest (online). Optical Society of America, Oct. 2014, Conference Proceedings, p. FTu4D.5, doi: [10.1364/FIO.2014.FTu4D.5](#).
- [97] S. Pathak *et al.*, “Comparison of AWGs and Echelle Gratings for Wavelength Division Multiplexing on Silicon-on-Insulator,” *IEEE Photon. J.*, vol. 6, no. 5, pp. 1–9, Oct. 2014, doi: [10.1109/JPHOT.2014.2361658](#).



Appendix A — Phase correction for RSoft simulation model

A.1 Introduction

Given that the BPM provided by RSoft is utilized with non-rotatable field monitor, a phase-correction step should be involved between two FPRs simulations. The default executable program “phasecor.exe” offered by RSoft was replaced with a user-defined python function, considering the wider mode was employed in the AWG to reduce the side-wall roughness. Detailed contents of the python file as well as the mastering callers are provided in the following sections.

A.2 phasecor.py

TBD

A.3 bptmp3Dscanall.bat

TBD

A.4 bptmp3Dscan1.bat

TBD

A.5 bptmp3Dout1.bat

TBD





Appendix B — Adaptive particle swarm algorithm

B.1 Introduction

To find the extremum of a figure of merit function more efficiently, an user-defined Lumerical functional script was employed during the optimization of the broadband asymmetric directional coupler with the aim of dropping signal. To meet the Lumerical optimization configuration, three separate scripts named “APSO_first.lsf”, “APSO_next.lsf”, and “UDA_fom” were developed for “first generation”, “next generation”, and “fom function” of the optimization.

B.2 APSO_first

TBD

B.3 APSO_next

TBD

B.4 UDA_fom

TBD



Appendix C — Automated python process flow for Lumerical optimization on Taiwan 3 handled by local PC

C.1 Introduction

To efficiently perform optimizations under Lumerical over the cloud cluster super-computer provided by Taiwan government, a user-defined python script allowing for automated actions including logging in, uploading, submitting, monitoring, and downloading jobs was utilized.

C.2 TBD