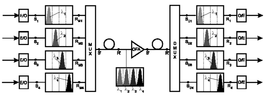
Multipleksacja WDM

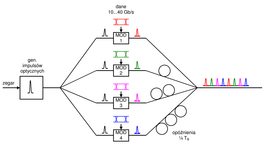
Filtry, selektywne przełączanie sygnałów optycznych



Multipleksacja sygnałów w światłowodzie

- wszelkie metody „elektryczne"; TDM, CDMA, sub-carrier multiplexing, itp
- Optical Time-division Multiplexing – OTDM
- Systemy koherentne (AM, FM, PM, multilevel, IQ)
- Multipleksacja polaryzacyjna
- Wavelength-division Multiplexing - WDM

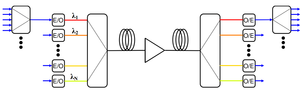
OTDM



modulator OTDM

Problem: jak zrobić demodulator ???

WDM

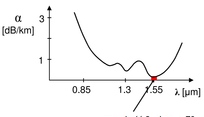


WDM

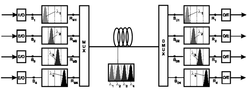
(inna nazwa: OFDM)

Dlaczego WDM:

- elektryczna multipleksacja powyżej 10 Gb/s b. uciążliwa
- szybka modulacja ➔ szerokie widmo opt. ➔ dyspersja chrom.
- WDM umożliwia optyczne wydzielanie i routing sygnałów składowych bez konwersji O/E i E/O
- transparentność formatów transmisji ➔ możliwość upgrade'ów, łączenia usług itp
- zamienność kierunków transmisji
- ostatecznie: najprostsza możliwość wykorzystania włókna do poziomu Tb/s



szerokość 3. okna ~ 70...100 nm tj. 10...15 THz



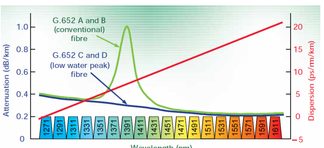
WDM 1310/1550nm

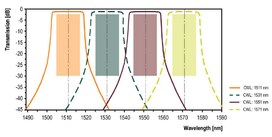
Parameter	Specifications	
Operating Wavelength (nm)	1310 and 1550	
Operating Bandwidth (nm)	+/-15	
Grade	P	A
Max. Insertion Loss (dB)	0.4	0.8
Min. Isolation (dB)	32	30
Max. PDL (dB)	0.1	0.15
Directivity (dB)	>55	
Operating Temperature (°C)	-40 ~ +85	
Dimension (mm)	Dia4.0*75	

Multipleksacja falowa a transmisja dwukierunkowa – eliminacja sygnałów „zwrotnych"

Coarse Wavelength Division Multiplexing - CWDM

- kanały co 20 nm
- Szerokość kanału 12 nm
- do 18 kanałów w zakresie od 1271 – 1611 nm
- zdefiniowane w ITU G.694.2





Dense Wavelength Division Multiplexing - DWDM

Siatka kanałów DWDM (ITU channel grid):

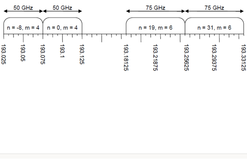
- odstęp 100 GHz (ok. 0,8 nm) lub 50 GHz (ok. 0,4 nm)
- kanały C1 – C61 w zakresie 190.1 – 196.1 THz (1577.03 – 1528.77 nm)
- kanały L48 – L00 w zakresie 184.8 – 190.0 THz (1622.25 – 1577.86 nm)
- zdefiniowane w ITU G.694.1

ITU Grid: C-Band, 100 GHz Spacing

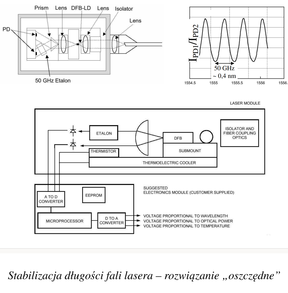
Channel (#)	Frequency (GHz)	Wavelength (nm)	Channel (#)	Frequency (GHz)	Wavelength (nm)
1	190100	1577.03	37	193700	1547.72
2	190200	1576.20	38	193800	1546.92
3	190300	1575.37	39	193900	1546.12
4	190400	1574.54	40	194000	1545.32
5	190500	1573.71	41	194100	1544.53
6	190600	1572.89	42	194200	1543.73
7	190700	1572.06	43	194300	1542.94
8	190800	1571.24	44	194400	1542.14
9	190900	1570.42	45	194500	1541.35
10	191000	1569.59	46	194600	1540.56
11	191100	1568.11	47	194700	1539.77

Flexible grid (flexgrid)

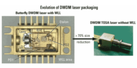
Możliwość zestawiania kanałów o szerokości N x 12.5 GHz, zależnie od wymagań pasmowych transmitowanego sygnału, np.:

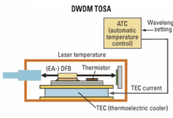


Stabilizacja długości fali lasera



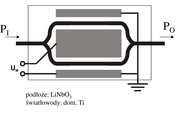
Stabilizacja długości fali lasera – rozwiązanie „oszczędne”





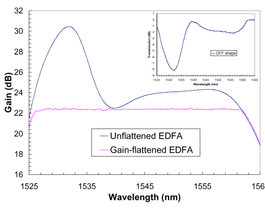
Zewnętrzna modulacja lasera

Modulator Macha-Zehndera

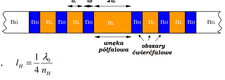


$$P_O/P_I = \cos^2\left(\frac{\pi}{2}\frac{U_M}{U_\pi}\right)$$

Wzmacnianie optyczne sygnałów WDM



Cienkowarstwowe filtry dielektryczne



$$l_L \equiv \frac{1}{4}\frac{\lambda_0}{n_L}, \quad l_H \equiv \frac{1}{4}\frac{\lambda_0}{n_H}$$

typowo: n_G=1,52 , n_L=1,46 (SiO_2) , n_H=2,3 (TiO_2)

strukturę filtru można zapisać:

GHLHLHLLHLHLHG

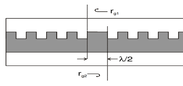
lub krócej:

$G(HL)^2HLL(HL)^2HG$

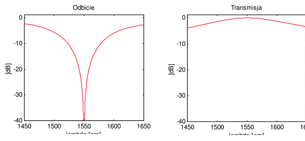
ogólnie:

$G(HL)^{N1}HLL(HL)^{N2}HLL(HL)^{N3}HLL(HL)^{N4}$ ... HG

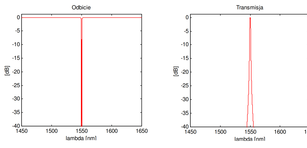
analogia: rezonator lasera DFB



przykład: struktura GHLHLLHLHG

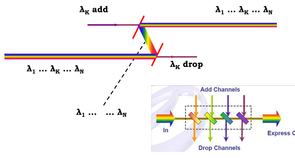


przykład: struktura $G(HL)^6HLL(HL)^{12}HLL(HL)^6HG$

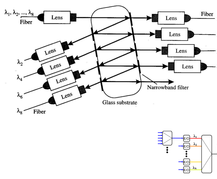


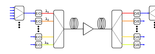
Zastosowania filtru cienkowarstwowego

Optyczny Add Drop Multiplexer (OADM):



Multiplekser/demultiplekser WDM:





Parametry multiplekserów/demultiplekserów cienkowarstwowych:

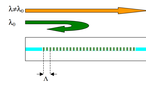
DWDM:

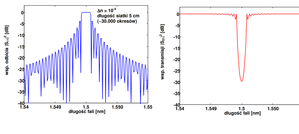
ODLEGŁ. KANAŁÓW 100GHz (ok. 0,8 nm)
PASMO PRZENOSZENIA 0,2 nm (-0,5 dB)
TŁUMIENIE WTRĄCONE 3,5 dB dla 8 kan., 5,5 dB dla 16 kan.
SEPARACJA >25 dB dla sąsiedniego kan., >45dB dla pozost.
ODBICIE < - 45 dB

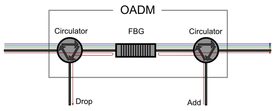
CWDM:

ODLEGŁ. KANAŁÓW 20 nm
PASMO PRZENOSZENIA 12 nm (-0,5 dB)
TŁUMIENIE WTRĄCONE 2 dB dla 4 kan., 3,5 dB dla 8 kan.
SEPARACJA >30 dB dla sąsiedniego kan., >50dB dla pozost.
ODBICIE < - 45 dB

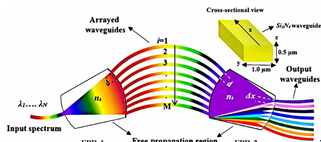
Włókna z siatką Bragg'a



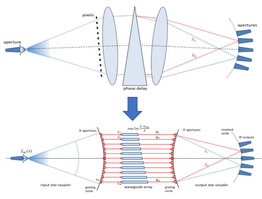




Arrayed waveguide grating (AWG) –
inny pomysł na (masową) (de)multipleksację DWDM



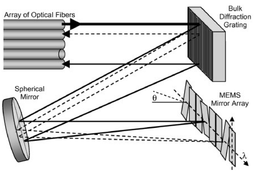
FPR-1 **Free Propagation Region (FPR)** FPR-2



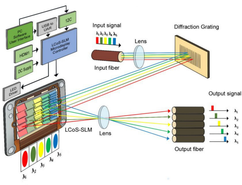
różnica długości optycznych ramion powoduje konstruktywną interferencję kolejnych kanałów na kolejnych portach wyjściowych

- Wideband Arrayed Waveguide Grating
- Athermal over -5–60C
- 191.2 – 196.10 THz
- C-band 100GHz spaced
- 48 channels
  - Input 4 12-channel ribbons
  - Output SMF LC
- <5dB Loss

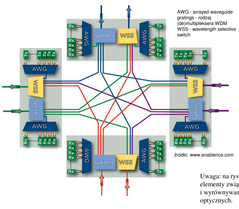
Wavelength selective switch (WSS) – Rozwiązanie MEMS



Wavelength selective switch (WSS) – Rozwiązanie LCoS



ROADM - reconfigurable optical add-drop multiplexer



Uwaga: na rysunku pominięto elementy związane ze wzmacnianiem i wyrównywaniem poziomów sygn. optycznych.

Efekty nieliniowe w kontekście WDM

- duże znaczenie CPM, FWM, SRS

- dyspersja chromatyczna redukuje efekty nieliniowe, dlatego nie stosujemy światłowodów o zredukowanej dyspersji, lecz kompensatory

- szczególnie narażone są kanały sąsiednie, dlatego awaryjnie stosujemy *guard channels*, czyli separację pustymi kanałami