

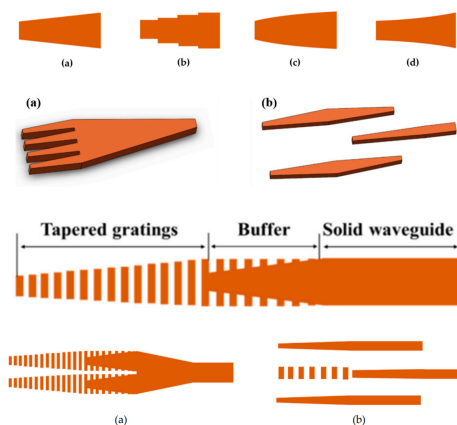
导波光学期末课题报告

Jinze Shi 2022211053 SPST

Fiber-to-Chip Coupler

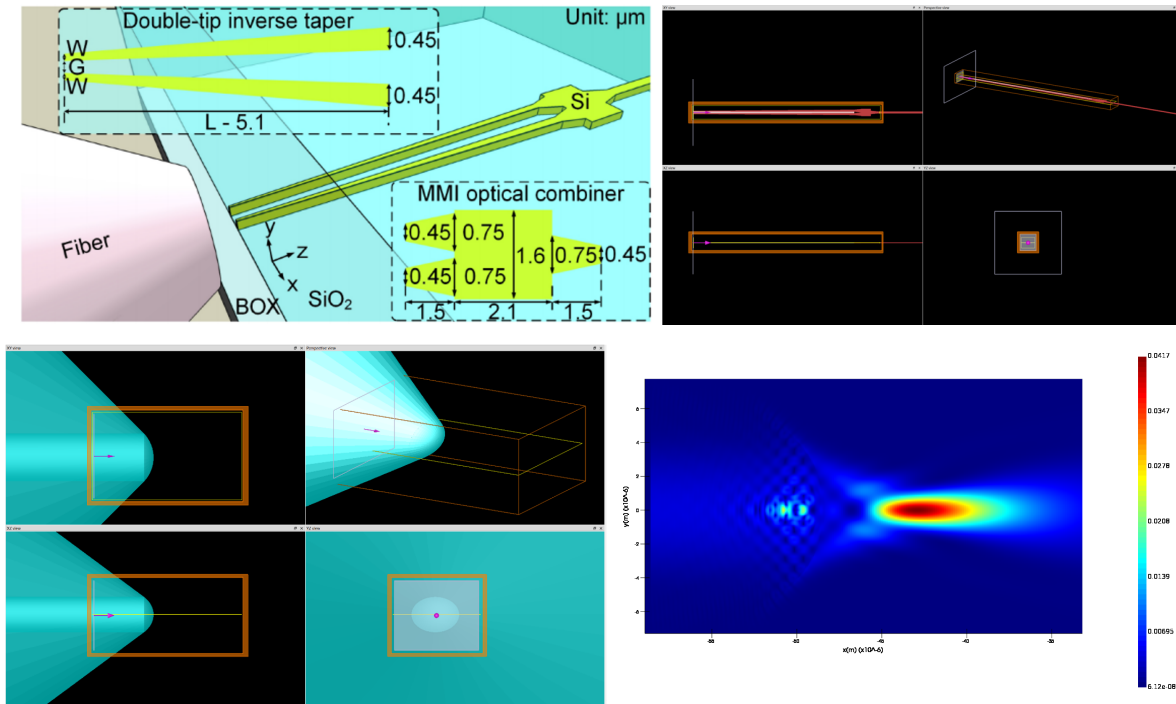
本次项目主要复现了一个 2016 年华为的边缘耦合器的设计工作，边缘耦合器属于光纤芯片耦合器的一种，光纤芯片耦合主要有两种方式，一种是离面的，一种是面内的，离面的主要为光栅耦合器，面内的主要为边缘耦合器。两种类型的耦合器各有优劣，其中光栅耦合器的优点是在芯片所在平面外，因此光栅耦合器可以施加在芯片的任何一个位置进行光的耦合，因此具有更加灵活的耦合位置以及测试灵活性。同时，光栅耦合器的结构大小紧凑适合更加紧凑的芯片设计，但是光栅耦合器也有一些缺点，由于它是由光栅结构，所以对波长具有选择性，带宽更低，耦合效率也更低。边缘耦合器可以实现更大的带宽和更低的耦合损耗，但是边缘耦合器由于只能设置在芯片的边缘，所以耦合位置相对固定受限，除此之外，边缘耦合器的耦合要求也要比光栅耦合器更加严格。

边缘耦合器的主要性能参数有耦合系数，带宽，工艺容差，耦合容差以及器件大小几个关键衡量参数，按照设计几何类型，其可以分为水平和垂直两种，水平结构指的是整个结构的厚度不变，在一个平面内进行设计，垂直结构指的是在整个三维空间进行设计，由于垂直结构的工艺相对复杂，目前主要还是聚焦在科学研究领域，距离工业化商业化的距离还较远，所以本项目主要聚焦在水平结构的边缘耦合器。水平结构的边缘耦合器按照设计加工的复杂程度可以分为四个层次，第一个层次就是由一个 tip 组成的，通过设计其边缘的线型来改进耦合的性能。这种结构的优点是工艺简单，缺点是往往需要一个较大的，例如几百微米量级的 foot print 去实现，难以实现紧凑的芯片设计。为了实现更紧凑的设计和更大的容差，可以在单个 taper 的基础上进行 muti-tip 或者 mutiple tapers 的设计，如图第二层结构所示。第三层次的结构引入了光栅的结构，可以增大某一波长的耦合效率，同时规避高阶模式的串扰。第四个层次则是将带有光栅的 tip 和 muti tapers 的结构结合起来，可以在有限的设计空间给予结构优化更大的自由度。



本文综合考虑器件尺寸、器件加工复杂度和器件的各项性能，选择了第二层次中的 mutiple tapers 结构进行了仿真复现。

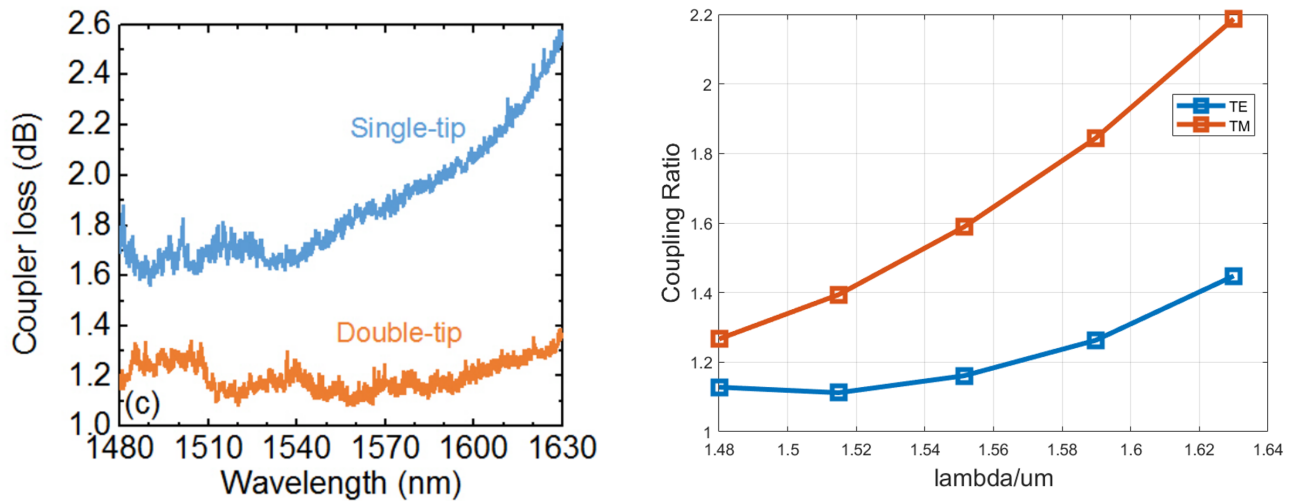
Mutiple Tapers + MMI Edge Coupler



仿真的结构如图所示，芯片的边缘首先是两个 tapers，taper 的间距设为 G ，taper 的宽度设为 W ，两个 taper 的末尾宽度为 450nm，连接到一个 2×1 的 MMI 结构上，MMI 出口连接 220nm 高，450nm 宽的波导，就构成了本边缘耦合器的基本结构。文章中的模拟使用的是一个透镜光纤的 3.3 微米 MFD 的出光作为边缘耦合器的入射光。本项目首先模拟了一个顶角 45 度，曲率半径 6 微米的 SMF28 光纤对传播模式的聚焦。

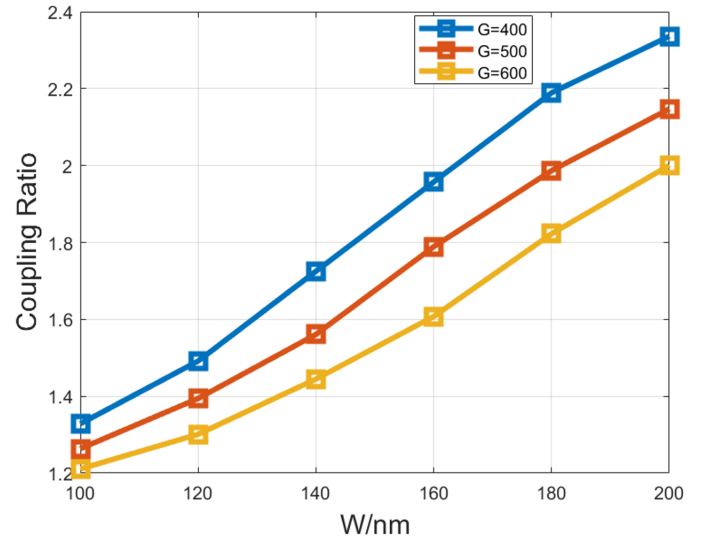
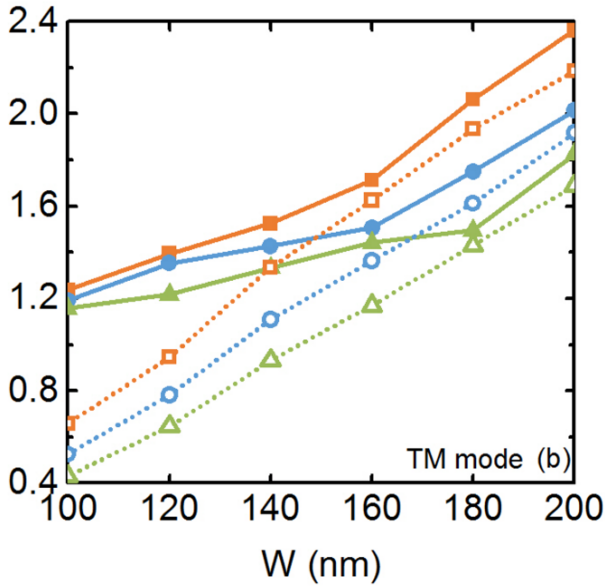
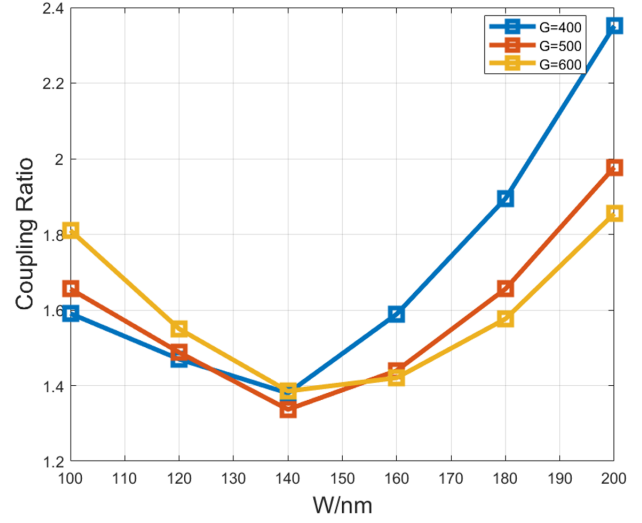
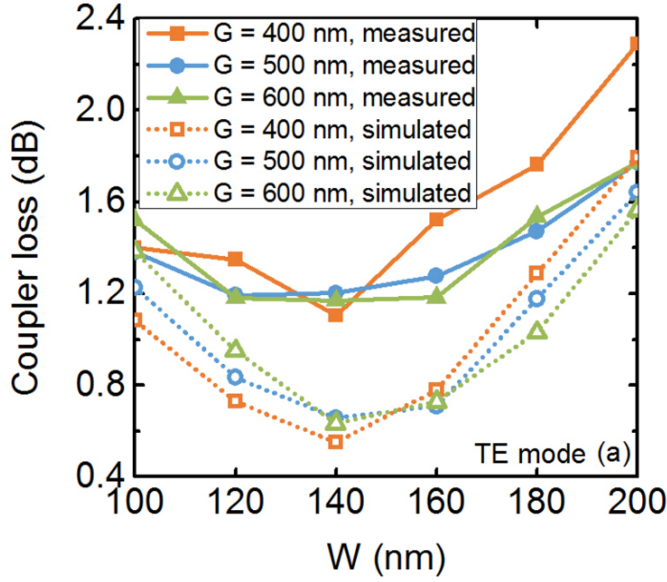
透镜光纤的出光可以将 8.5 微米 MFD 的光聚焦到大约 3 微米，本文将该最窄处的光斑模场保存并作为边缘耦合器的输入。

BandWidth



首先对带宽进行了模拟，选取 1480-1630nm 波段的光，观察其模拟出光可以发现，与文章中的实验数据结果相比较，TE 模式的耦合系数与实验中得总出光基本一致，TM 模式的耦合系数要相对大一些，且在长波范围内耦合损耗增长得更快。同时对比 single taper 的情况，double tapers 的耦合效率要明显高，针对不同的波段高 0.6-1.4 个 dB 不等。

Fabrication Deviation Tolerance

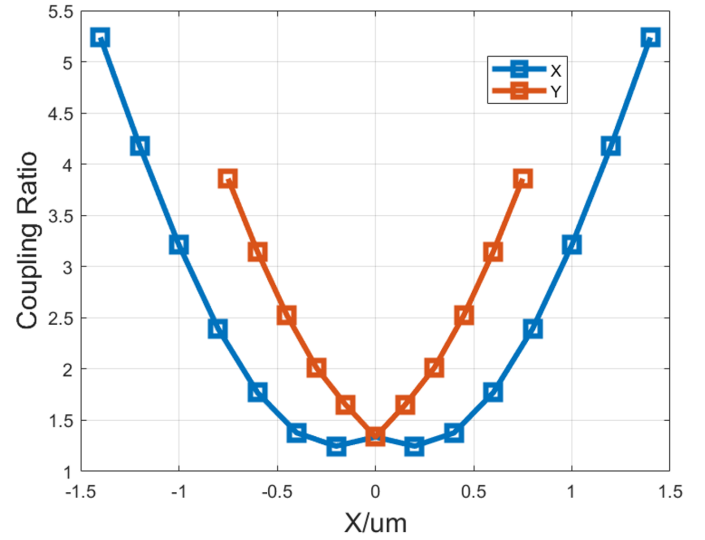
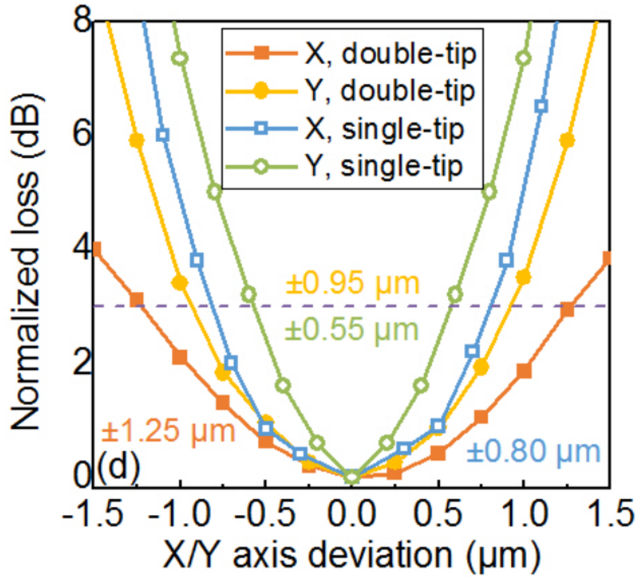


这里分析的主要是边缘耦合器参数 W 和 G 变化时 TE 和 TM 模式的耦合系数的变化, 本文仿照复刻文章, 选取了 $G=400\text{nm}$, 500nm , 600nm 三个值时, W 从 100nm 变化到 200nm 对输出的影响。对于 TE 模式, 当 W 逐渐增大的时候, 耦合损耗先降低后升高, 在 $w=140\text{nm}$ 时取得最小值, 同时可以发现在 w 小于 140nm 时, G 越大, 耦合损失越大, 在 w 大于 140nm 时, G 越大, 耦合损失越小。这一点和文章中的模拟是对应的, 但是耦合损失具体的数值相较于文章而言偏高 0.8 个 dB. 对于 TM 模式而言, 其耦合损失随着 w 的变化, 在相同的范围内却是单调的, 随着 w 增大, 耦合损失逐渐增大, 同时随着 G 增大, 耦合损失逐渐减小。TE 的模拟结果与文章中相比也大了 0.8 个 dB.

Misalignment Tolerance

这部分主要分析的是当光纤和边缘耦合器位置没有对准的情况下对输出的影响, 如图所示, 从文章的结果来看, 相较于单个 taper, 水平方向 3dB 的容差为 1.25 微米, 竖直

方向的 3dB 容差为 0.8 微米，双 taper 的情况下，两个方向的错配容差都要更大。本文模拟的结果，水平方向 3dB 的容差为 0.9 微米，竖直方向的 3dB 容差为 0.6 微米，比文章中要小一些。



Difference and Further Analysis

对比文章的结果可以发现本文的模拟结果在耦合损失上要更大，约为 0.8dB，所以导致了 Misalignment Tolerance 也要更小。推测导致这一结果的原因是耦合时选取透镜光纤的出光 MFD 的最小处直接作为边缘耦合器的输入并不是交叠积分结果最大处，也就是说实际上耦合效率更高的点不是透镜光纤出光 MFD 最小的点。未来的改进工作可以聚焦在优化这一参数，同时复刻的文章只提供了模拟和实验的结果，并未在理论上进一步分析 TE 模式在 $w=140\text{nm}$ 左右时耦合损失对 G 的单调性的变化。