**西 安 邮 电 大 学**

**毕 业 设 计（论 文）**

题 目： 基于脊形硅波导的全光100-10Gbit/s时分解压器

的设计与优化

学 院： 电子工程学院

专 业： 光电信息科学与工程

班 级： 光电1302

学生姓名： 马鸣

导师姓名： 惠战强 职称： 副教授

起止时间：2017年3月14日至2017年5月31日

**摘要**

为了进一步满足各种宽带业务对网络容量的要求，充分利用光纤的带宽资源，开发和使用新型光纤通信系统成为未来的发展趋势，其中采用多通道复用技术便是行之有效的方法之一。理论和实践都已证明，光复用技术作为构建信息高速公路的重要技术，在过去，现在和将来，对光通信系统及网络的发展和对充分挖掘光纤巨大传输容量的潜力，都将起到重要作用。

本文首先介绍了光时分复用的基本概述，包括时分复用的概念，OTDM的复用原理，OTDM解复用的原理，用到的技术，以及OptiSystem可视化仿真软件的使用。

OptiSystem是一款创新的光通讯系统模拟[软件包](http://baike.baidu.com/item/%E8%BD%AF%E4%BB%B6%E5%8C%85" \t "_blank)，它集设计、测试和优化各种类型宽带[光网络](http://baike.baidu.com/item/%E5%85%89%E7%BD%91%E7%BB%9C" \t "_blank)[物理层](http://baike.baidu.com/item/%E7%89%A9%E7%90%86%E5%B1%82)的虚拟光连接等功能于一身。最大的特点是强大的全面的[图形用户界面](http://baike.baidu.com/item/%E5%9B%BE%E5%BD%A2%E7%94%A8%E6%88%B7%E7%95%8C%E9%9D%A2" \t "_blank)控制光子器件设计、器件模型和演示。巨大的有源和无源器件的库包括实际的、波长相关的参数。参数的扫描和优化允许用户研究特定的器件技术参数对系统性能的影响。文中利用了OptiSystem构建了OTDM系统模型，利用该模型仿真分析，得到光脉冲发射器，光调制器，光延时，解复用的四波混频开关，波导设计等各方面的技术，为OTDM系统的学习提供了一个很好的软件平台。

理论知识是用来指导具体实践的.本文在深刻理解OTDM系统的基础上,利用OptiSystem强大的仿真功能，设计了许多具体的时分复用系统。

关键字：OptiSystem；OTDM；四波混频；仿真；脊形波导

**ABSTRACT**

In order to further meet the requirements of various broadband services to network capacity, and make full use of fiber bandwidth resources, developing and using new optical fiber communication system are becoming the future development trend, in which using multi-channel multiplexing technology is one of the effective methods. Theory and practice have proved that optical reuse technology, as an important technology to build information superhighway, in the past, present and future, the development of optical communication systems and networks and the potential for fully exploiting the huge transmission capacity of optical fiber will play an important role.  
 This paper first introduces the basic overview of optical time division multiplexing, including the concept of time division multiplexing, OTDM reuse principle, the principle of OTDM demultiplexing, the technology used, and the use of OptiSystem visual simulation software.  
 OptiSystem is an innovative optical communication system simulation software package, which combines design, testing and optimization of various types of broadband optical network physical layer of virtual optical connectivity and other functions into one. The biggest feature is the powerful comprehensive graphical user interface control of photonic device design, device model and demonstration. The huge source of active and passive devices includes the actual, wavelength-dependent parameters. The scanning and optimization of parameters allows the user to study the effect of specific device technical parameters on system performance. In this paper, the OptiSystem is used to construct the OTDM system model. Using the model simulation and analysis, the four-wave mixing switch, waveguide design and so on are used as the OTM for the optical pulse transmitter, optical modulator, optical delay and demultiplexing, which provides a good software platform for the learning of OTDM system.  
 Theoretical knowledge is used to guide the concrete [practice.This](https://wx.qq.com/cgi-bin/mmwebwx-bin/webwxcheckurl?requrl=http%3A%2F%2Fpractice.This&skey=%40crypt_250cc60d_b268c0e2f40225fa9160662ed42cda8e&deviceid=e689444795278423&pass_ticket=OGyZ0hnIs%252FcdAc7dSn8ofPrQ9ERkOmRy4aiYX3pdtZAsP3j2XIHqdQcG32JdDF22&opcode=2&scene=1&username=@652b32c315d8a558652e1d4d86d783f72393e6b41c949c91ded0c7f8065b21c7) paper, based on the deep understanding of the OTDM system, employs OptiSystem’s powerful simulation function, and designs a number of specific time division multiplexing system.

Keywords: OptiSystem；OTDM；Four-Wave Mixing；simulation；Ridge-waveguide

**引言**

两千多年前的庄子曾经说过:”吾生也有涯，而知也无涯。以有涯随无涯，殆己”。两千多年前的庄子尚有如此感慨，现如今我们信息的传递早；已摆脱了原始的飞鸽传书，加急快报等。现今社会的光电子技术在这里面起到了决定性的作用，他的潜在作用了影响了整个半导体行业，其中著名的”摩尔定律”就是见证。”摩尔定律”讲述的是每18个月计算机的性能将翻一番的发展趋势。在二十一世纪初的时候，微处理器可以通过增加它的时间周期也就是所说的时钟摆动会发生很多问题，元器件的功耗急剧下降，损耗非常严重，导致处理器的热密度变得难以维持[1]。为了改进这个问题做了很多的努力与尝试，研究出了多处理器，但是多处理器之间的内部通信又出现了很大的问题，它的带宽极限又成为了另一个技术屏障。早期的计算机不像现在如此广泛和轻便，它那庞大的体积充斥着大量的晶体管，芯片上大量的布线。信息传递的时候，通过这些布线和晶体管产生大量的废热，也使得大量的信息被堵塞和延迟，这个对信息高速的传递是根本性的限制。

19世纪的光子学说，是物理学史上一个里程碑式的进步，光子的”波粒二象性”，为光子学的发展奠定了理论性基础。通过让光子代替电子，光子巨大的可用带宽可以克服微处理器的带宽限制，而且光子的光速响应速度具有无可比拟的优势，从而不必担忧电路延迟带来的限制。对于这样的应用，建立在绝缘体平台的硅光子制成的波导结构中，并且波导中导体损耗，介质损耗小，没有辐射损耗。

OTDM(时分复用)技术是指在光纤上进行时间分割复用，在一根光纤中只传输单一信号，它将通信时间分割成相等的间隔，某一固定的信道占据某一固定的时间间隔，这样各信道按照一定的时间顺序进行传输。随着光开关和光纤放大器的发展，对光时分复用的研究也越来越深入，利用这项技术实现高速率通信已成为可能[2]。

**1 绪论**

* 1. 研究背景及意义

什么是OTDM呢，我们传输数据的时候速率过大，我们没有办法一次性传输这么大速率的设备，或者传输这么大速率的设备很昂贵，这时候我们就可以使用低速率的设备传输，然后我们把它复用成很多路，每一路都经过一个时间上的错位，这样在一个周期上我们就会看到，它传输了很多路，然后将这很多路合在一起，这样就是对时间的一个高效利用，这个就是OTDM。

1988年贝尔实验室是第一个完成OTDM实验点对点的实验室传输系统，当时的传输速率为4x4Git/s，1999年第25届ECOC会议中，日本NTT又实现最高速率为640Gbit/s的100kmOTDM传输实验，实验中示波器显示单通道最高速率为160119Gbit/s，在中国”九五”期间，国家”863计划”通信主题将光时分复用技术列为重点课题，中国国内许多高校也相继投入到高速光时分复用技术研究中。但是中国国内的研究同样的存在一些问题，如OTDM系统的稳定性还有待提高，缺乏观察40Gbit/s以上超高速光脉冲的示波器，信号分析仪等。

光波拥有很高的频率，利用光波作为信息的载体进行通信，具有巨大的优势。对石英光纤，其低损耗窗口总宽度约200nm，带宽为25000GHz。但是，实际光波系统中由于光纤色散等因素的影响，其通信速率受到限制。因此，如何充分利用光纤的频带资源，提高光波系统的通信容量，就成为了光波通信理论和设计上的重要问题。光复用技术的出现，及时解决了这个问题。

* 1. OTDM系统目前发展现状

研究更高速率的系统并与DWDM相结合。OTDM的最高速率已达640Gbit/s，OTDM与DWDM相结合已实现了3Tbit/s的传输速率。OTDM实用化技术和比特间插的OTDM网络技术。欧洲一直在从事40Gbit/s OTDM系统和网络方面的研究工作，其中的一些关键器件已接近实用。

OTDM全光分组网络。国内利用熔椎型耦合器设计并制作了一个40Gbit/s的光时分复用器，并提出了一种利用镀膜的透镜组合来制作光时分复用器的方法，从理论上分析了该透镜组合的光线传输特性及其时分复用原理。

光时分复用(OTDM)技术是一种能有效克服电子电路带宽”瓶颈”充分利用低损耗带宽资源的扩容方案。与波分复用(WDM)系统相比，OTDM系统只需要单个光源，光放大时不受放大期增益带宽的限制，传输过程中也不存在四波混频等非线性参量过程引起的串扰，且具有便于用户接入，易于与现行的同步数字列（SDH）及异步传输模式（ATM）兼容等优点。

* 1. 研究内容

随着现代社会的发展信息越来越多，要求信息系统性能越来越好，但同时信息系统也越来越复杂;从另一个角度谈，光电子技术领域研究和产品开发的要求出发，缩短周期，降低成本，改善水质是必然要做的事情。在这样矛盾的条件下，只能通过强大的软件仿真和设计技术工具来实现。本质上讲，光电子学的仿真方法论不是那么容易系统的建立，所以除基本的仿真外，所有仿真问题都要涉及一些流程步骤。

1. 熟悉硅基微纳波导的结构，掌握波导设计方法。
2. 掌握硅基微纳波导中的非线性光学效应及应用，比如自相位调制，交叉

相位调制，四波混频等原理。

1. 在综合考虑拉曼效应、克尔效应和双光子吸收效应等三阶非线性效应引起的非线性极化强度和自由载流子效应引起的非线性极化强度的情况下，从麦克斯韦方程组出发推导了超短脉冲在硅波导中的非线性传输方程。
2. 学习optisystem软件，根据所设计波导色散特性，完成全光时分解压缩器的设计。

**2 硅的材料性质以及波导的结构**

硅材料是一种半导体材料，因为它具有非常好的稳定性，以及低廉的价格，我们可以在自然界中很好的获取，它目前是应用最广泛的材料，它是目前半导体芯片的基础，我们的手机，电脑，平板等，都有它的身影。

2.1 硅的电学性质

硅的电性质非常重要，它是确定硅是电子器件的基础，电子和空穴的迁移是其中的重要参数之一，材料不仅是实际应用的基础，而且是物理性质的基础。 结果表明，边界和界面粗糙度散射是影响电子迁移率的主要因素。在异质结势场效应晶体管中，背景杂散散射的通道是主要机理。杂质浓度不高于硅的情况下，如果你不考虑由声波和非极性光声子散射引起的应变的影响，晶格散射起主导作用，硅的性能非常重要，在许多领域有突出的贡献。

2.2 硅的光学性质

硅材料在光子学中的应用和作为一个重要平台，这是硅的光学性能的体现，光学性质体现在这些方面：

1. 作为一种半导体硅材料，自然存在禁带宽度，在室温下1.1微米波长的硅禁带宽度为1.12Ev，因此在最重要的通信通讯窗口频带1.3 到1.7微米范围内，是完全透明的。硅带间隙结构可使波长长于1.1微米截止波长的透光透射光谱组成，非常有利于在通信领域中应用硅胶材料。
2. 硅是可以发现的纯物质之一，从光学上讲，纯度越低，损耗越高，硅纯度越高，人们可以使用它来生产各种低损耗和低色散的光学 波导器件。
3. 硅非线性折射率是普通石英的200倍，拉曼增益系数为3000倍，普通石英和依赖于光的偏振特性是良好的非线性光学材料，可以作为克尔效应和拉曼效应的载体。

在许多硅材料的光学性质中，折射率是硅材料的重要光学参数，其由材料本身的性质以及光的波长和能量决定。 研究发现，随着波长从0.89微米到2.48微米波长的增加，硅的折射率降低，这种变化是单调的。 此外，硅的物理性质还包括可通过拉曼光谱测量材料的荧光光谱的荧光性质。。

硅晶体结构，带结构，纯化程度，电子和空穴迁移特性使其非常适合制造电子器件。随着深入研究，特别是外延生长技术和纳米加工技术的发展，相信硅光子材料将获得重大突破

2.3 绝缘体上硅材料的特性及应用

有很多不同的硅基材料，其中最重要的是绝缘体上硅（SOI），SOI材料是一种新型的硅材料、光电集成器件基于SOI结构将在很大程度上提高开关速度，降低功耗，实现低成本运作。

SOI技术通过引入在硅衬底和硅衬底顶部的背面，在半导体衬底上形成半导体薄膜之间的氧化物层，这种特殊结构使得SOI材料具有比单晶硅更好的优点。这些优点是: 低功耗，SOI材料可将能耗降低至。实现了组件的介质隔离。良好的高频特性。可以承受剧烈的温度。

2.3.1 SOI材料的应用与发展趋势

SOI材料作为一种光学性能优良的结构材料，SOI材料可以用来制作硅基集成光电器件，用于高速宽带网络连接。目前，已经利用SOI技术和材料实现了大量光学波导无源器件的制作。此外,SOI材料还应用于微机电系统器件。

基于SOI系统的光电子集成材料的核心技术是SOI波导器件，SOI波导的导波层硅层和包层二氧化硅的折射率差别很大，由它们组成的波导对光的限制作用很强。因此，想要在平面SOI波导中实现单模传输，导波层的厚度要小于0.3微米，为了解决这个问题，Soref提出了SOI矩形脊形波导的单模传输条件。

2.4 SOI波导的结构和性质

SOI材料在光电子学技术中应用核心就是波导，SOI波导是在SOI材料的基础上加工而制成的，它的尺寸在亚微米级。图2.2给出了典型的板层结构SOI波导截面示意图。



图 2.1 典型的板层结构SOI波导截面示意图

它的结构可以分为如下几层：芯层，为核心层，其材料为硅，在波长为1550nm处其折射率大约为3.5；衬底层，采用硅材料来支撑整个波导结构；涂覆层，SOI波导结构的涂覆层材料为二氧化硅，在波长为1550nm处其折射率约为1.46；涂覆层上面就是空气层。

2.4.1 波导常用的结构

常见的波导结构分为条形波导，脊形波导，光子晶体波导，沟波导，分别如图2.2 所示：

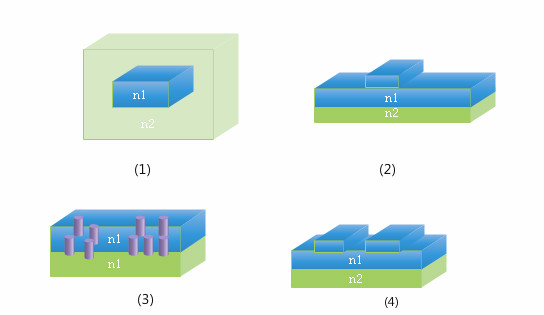


图 2.2 (a)条形波导;(b)脊形波导;(3)光子晶体波导;(4)沟波导

一般而言，SOI波导中可以传输多个模式，但是只要结构设计合理，就可以实现单模传输。对于脊形波导而言，只要波导结构的集合参数满足(2-1),就可以支持单模传输

(2-1)

式中，为波导的宽度和高度之比；为波导的蚀刻深度和高度的比值。

2.4.2 脊形波导的优势

在脊形SOI波导结构中，横向尺寸可以稍微扩大，当光在波导中传输时，波导内的高阶模式就被辐射掉了，只余下基模。所以，脊形SOI波导内传输的单模是一种准单模形式。

SOI波导采用脊形波导结构具有以下优点：一是自由载流子可以更快地向波导结构的侧翼消散，可以减小自由载流子效应的影响；二是脊形波导结构有利于金属p-i-n结构与波导结构结合在一起，可以十分方便地对波导结构进行电压加载。

**3 光波导的一般理论和研究仿真**

现代的光子学理论经过了很多代物理学先驱的反复推证，直到德布罗意提出”波粒二象性”，这个持久的争论才结束。光就是一种电磁波，那么它首先就是一种电磁振荡。电磁震荡包括电场和磁场两方面的振荡，因此，光场按照工程惯例以电场强度和磁场强度来表征，可以写为

= () (3-1)

光场既是位置的函数，又是时间t的函数。

一个单一频率的简谐电磁振荡，通常可表示为

= () (3-2)

其中,是复矢量，包括了方向，幅度和相位关系。理想中的相干单色光，即光场中每点的场分量都有固定的方向，稳定不变的频率和稳定的相位关系。

3.1 光频的研究方程组

麦克斯韦根据前人的总结关于电磁场的研究提出了完整直观的电磁场方程，开创了光学的新纪元，目前光通信，光传输很多领域中都是以麦克斯韦方程为基础。

在介质中基本的麦克斯韦方程和瞬态的，就是某一时刻，某一位置上电磁场强度**和**磁场强度所满足的普通适应方程是：

(3-3)

第一个方程表示”磁场的变化引起电场”。第二个方程表示，就是俗话说的”电场的变化和电荷的运动引起了磁场”。第三个方程表示，电位移矢量的场是一个有源场，产生这个散度的源是电荷密度 。第四个方程表示，磁感应强度的场是一个无源场，自然界中没有“磁荷”存在。这四个方程中，前两个方程是基本的，后两个方程可以利用旋度场的散度恒为零及电荷不灭定律。

(3-4)

对麦克斯韦方程进行简单的数学运算，就将和互相关联起来的方程转化为各自独立的方程，利用

(3-5)

立即可得到亥姆霍兹方程

(3-6)

(3-7)

方程中*k* = 为真空中的波数，为波长；。由方程(3-6)和(3-7)可以看出，方程的左边包括齐次部分和非齐次部分。而是否为零是该方程是否为齐次的关键。如果在所考虑的那一部分光波导中，介质为均匀分布(=0)，或近似均匀分布，那么该方程就转化为齐次的方程

(3-8)

3.3 模式的概念

正规光波导是最主要的一类光波导，由正轨光波导引出的模式概念，是光波导最基本的概念。

说到正轨光波导，什么叫正规光波导呢，大致就是光波导的折射率延向不变，那么他就是正轨光波导，数学表达式，可表达为

(3-9)

那么这样就可以得到这样的结论，在没有偏振相关损耗的正轨光波导中，选择合适的坐标系，它的光场总可以使用分离变量法分离开来，也就是博到你该方程的特解，即

() = (3-10)

那么光场沿着空间的分布我们就可以这样表示：

() = (3-11)

式中， 为位移常数，表示这种光场具有波动性;与为模式场，表示光场()沿着截面的分布，模式场是矢量场，具有立体三维视图，它包括方向，幅度和相位

关于模式场是否存在，主要有两种方式，第一种是将分离成，接着求出。而另外一种方法相对就比较麻烦了，它是将公式(3-11)直接带入亥姆霍兹方程，验证其正确性，带入可得下面这样的公式：

(3-12)

可以得到

方程组(3-13)和(3-14)是一个只有两个未知数的偏微分方程。我们根据偏微分方程理论，给出的边界条件，可以得到他的特征解

() = (3-15)

那么上面得到的这个方程的一个特征解就是一个模式。

3.4 模式的分类

我们根据模式在空间中的分布，通常将它分为三类：

1. TEM模：模式只有横向分量，而无纵向分量
2. TE模或TM模：模式只有一个方向
3. HE模或者EH模

根据研究得到光波导中不可能存在TEM模，TEM模只是存在理论中的，而HE模与EH模在应用中比较少，目前不对它做过多的讨论与研究，只说TM模和TE模。

3.4.1 TE模

由于TE模的纵向分量 = 0 ,从模式场中可以得到

(3-16)

上面的式子我们可以得到：电场与磁场的横向分量相互垂直;在,,三者成右手螺旋准则的规定下，和同相位;参数具有阻抗的量纲，定义为TE模的波阻抗。

o z

图3-1 TE模电场与磁场的横向分量

3.4.2 TM模

由于磁场纵向分量= 0,我们从模式场中得到

(3-17)

上式表明：电场与磁场的横向分量相互垂直；在， ，三者符合右手螺旋定则的情况下，与同相位，幅度大小成比例。比例系数具有阻抗的量纲，也就是所说的波阻抗。

3.5 波导的材料色散

波导的许多性质我们都可以定量的表示出来，通过某种特定的数学方程，这些性质包括损耗和色散。

波导中的材料二氧化硅的色散我们可以用Sellmerier方程来描

(3-18)

在方程中;为第阶谐振波长;为谐振强度。

但是硅材料它的色散方程就是比较特殊了，比之前的繁琐一点，它的修正表方程表达式为:

(3-19)

式中: = 11.6858，A=0.939816，B=0.00810461，=1.1071。

从公式(3-18)得到的方程经过后续的研究，发现有一定的缺陷，并不能完整的表达出来，因此对它进行了一次修订得到了另一种色散的模式，如下所示:

(3-20)

式中，为光子能量；，，，

还有一种其他的方程来代替方程，我们在常温下还可以使用色散方程来表示其色散定量的描述，

(3-21)

式中: ，在常温下，。

3.6 脊形硅波导的设计与优化

波导的仿真我使用的软件是,这个软件中我们可以画出波导的结构，尺寸，材料，然后得到波导的有效折射率曲线，有效场区面积，色散曲线等，我们可以很直观的看到各项指标.

，这是一种对微分形式的方程进行求解的技术，它只能模拟在有限空间内，设置相应的边界条件，来设置波导的边界位置，这里我们设置的边界使用的是PML。仿真的脊形硅博导的几何模型如图3-2所示,图3-3为软件仿真出来的效果图。

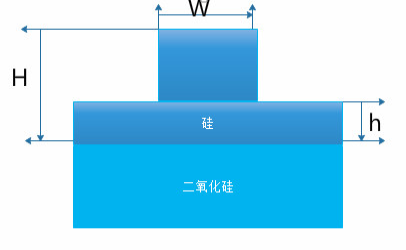


图3-2 脊形硅波导几何模型

从图3-2中我们可以看出几何模型受脊宽，高度，深度等这些条件控制，我们改变色散就是通过改变这些尺寸，调整它的结构，使得色散接近0。

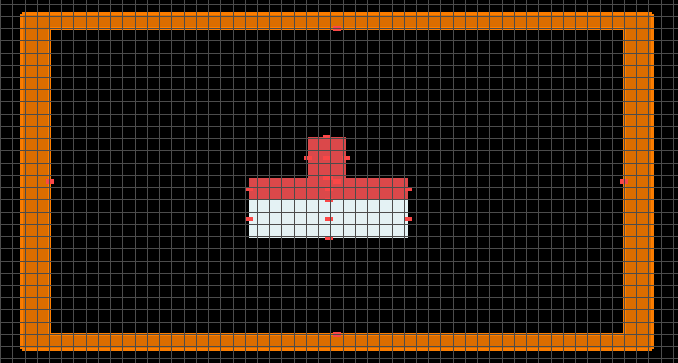


图3-3 设计的脊形硅波导模型

图3-4反映了波导的膜斑中能量的分布，我们可以清晰直观的看到它的分布,以及它的有效场区面积0.183002，这里仿真的时候使用的是TE模。仿真的时候他的尺寸这里采用的是，宽度W=0.3442，刻蚀深度h=0.26498，高度H=0.4093。在中使用的是1.53来进行解模的，计算出这些数据的。

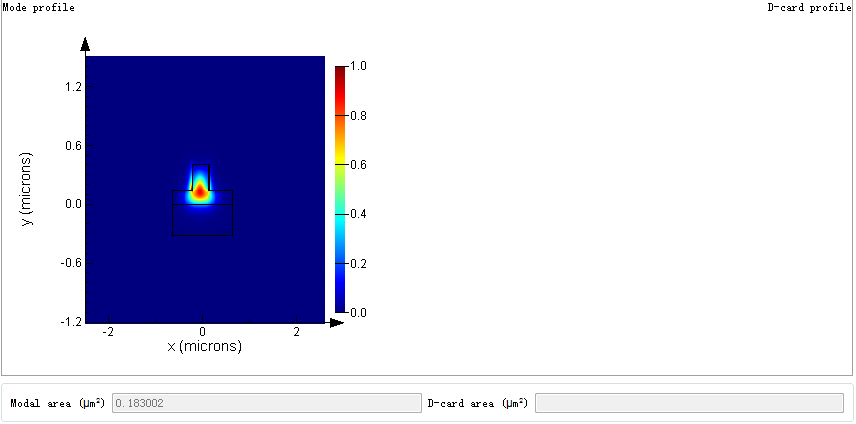
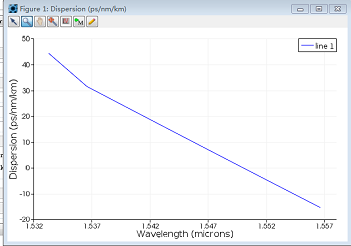


图3-4 设计的波导能量分布膜斑

设计的波导在这个描述的尺寸下它的色散曲线，如图3-5所示，我们可以看到他在波长1550nm范围内色散非常接近于0，这里只计算了1.53到1.57范围内的。



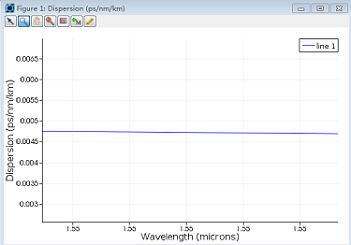
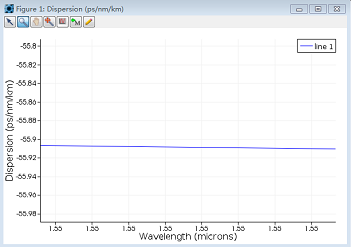


图3-5 色散在波长1.55处的曲线

为了方便做一个对比，图3-6是修改了波导宽度W得到色散曲线，在这里我们把波导的宽度修改为W=0.3402时，色散曲线错差很多。



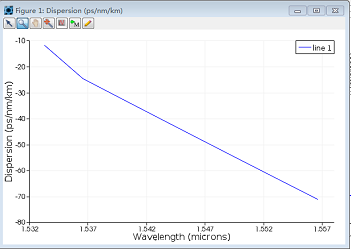


图3-6 增加宽度的色散曲线

色散它是受仿真的时候的几何尺寸控制，我们只要稍微的修改那些尺寸，立即就会得到不一样的一组数据，因此我们在设计波导，优化色散的时候就需要通过控制变量法，控制住某一个变量，一点点的修改其他数据，这样我们才能设计出色散平坦并且接近于零的波导。

**4 光复用技术(OTDM)的设计与实现**

目前光通信包含数以亿计的信息，并且形式多变复杂，所以充分利用光纤的带宽资源，开发使用新型的光通信系统已经是迫在眉睫的事情，采用多通道复用技术就是一种很好的解决办法，这里我们采用的是光时分复用(OTDM)技术，来更高效的传输信息。

4.1 什么是光时分复用

光时分复用(OTDM)技术是指在光纤上进行时间的分割复用，我们在光纤中只传输一种波长的光信号，是在发送端若干路归零形式的光数据进行位交错而获得的。比如我们要传输一个信号很高的信号，但是我们本身没有这个高信号的发射器或者这种信号发射器十分昂贵，我们就可以采用时分复用技术，在发送端发送几个低比特率的信号数据流，在接收端再解调出来，这样就实现了这么一个功能。

我们用图4-1来表示光时分复用系统的结构图，这个系统的电转换为光和光转换为电，系统做了优化处理，因此本身不存在什么瓶颈问题。

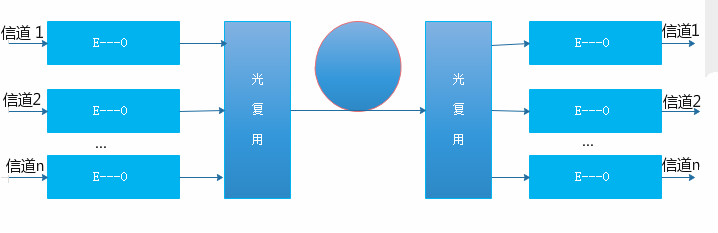


图 4-1 OTDM系统结构图

通常我们将光时分复用分为三个阶段，取样，定时，复合，首先从取样层面来讲，激光器发出连续脉冲流，经过外延调制，对每个电基代信号取样，然后识别出来，再经过电光调制变成RZ脉冲，如图4-2所示

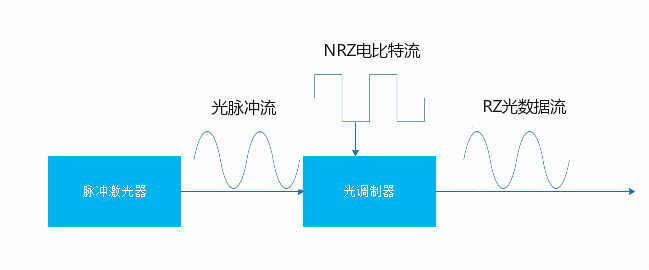


图 4-2 光脉冲流通过调制器

我们将一个4Gb/s光数据脉冲流输入，它产生的原理图可以用图4-3表示

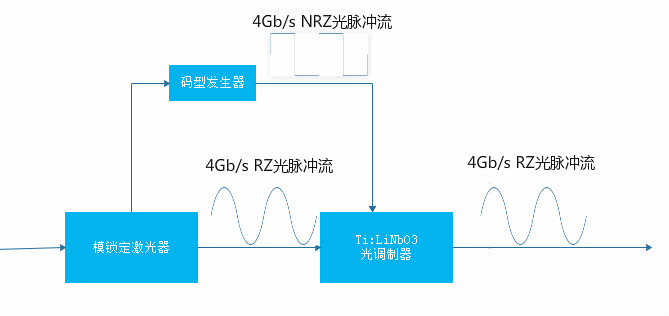


图 4-3 数据脉冲产生原理图

我们的OTDM系统是时间很短，所以我们的分光器分为路后，每一路信号都延时，这样保证每一路信号都能能发生正确的延时和另一列波发生四波混频效应，这个过程如图4-4所示，每一路信道中它的信道宽度都为T,周期频率为B，那么时间周期就为1／B，个信道的信号都经过时间D的延时。

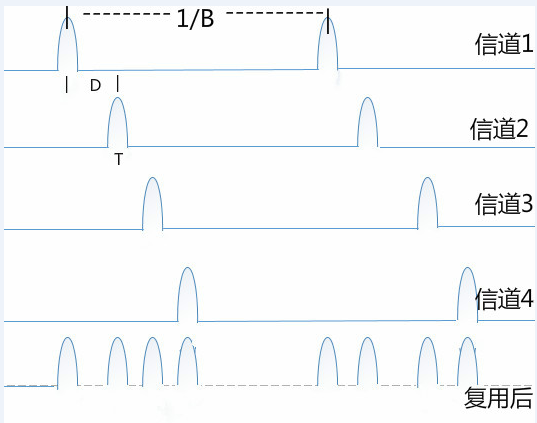


图4-4 N个信道光时分复用系统的定时原理图

在图示中，每一路信号都通过一定的延时，在这个时间间隔中，时间段内分为路，每一路的信号经过一个D的延时，这样通过延时器后的信号，再通过一个合光器，就能将路合为一路信号。

图4-5所示为路信号OTDM系统电光转换和经过合光器合在一起的原理图，先通过电延时器，这些信号被个光脉冲器共用，在通过一个光分配器分配光路，这些光路经过调制器以后，被合光器作用。这样我们就将分成的路信号合成一路，变成原来的光束。就相当于我们将一部很大的电影，拆开为个小片段，奖所有的小片段传输完成以后，再将它拼接为一部完整的电影。

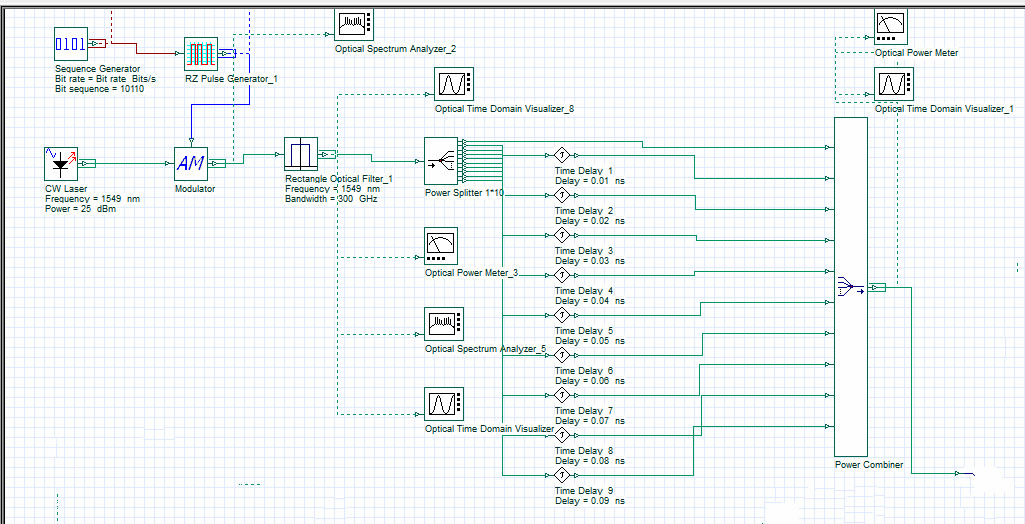


图 4-5 OTDM系统复用系统原理图

在这个系统中我们是将10Gbit/s的信号通过一个分光器分为10路，复用为100Gbit/s，因为系统中速率为10Gbit/s，所以我们的时间就是100ps,那么我们我们就要通过延时，光时钟每一路都延迟周期的，这样我们在通过一个合光器将光路合一。

在我们复用完了以后，我们怎么验证我们复用正确呢？确定复用的就是我们想要的东西，这里采用的是在复用前加一个示波器，在复用前在10G bit/s上发生的是一个10110的一个随即序列产生的信号码，那么我们复用到100G bit/s上在示波器上应该观察到的是10个10110信号码，具体如图4-6和4-7所示。

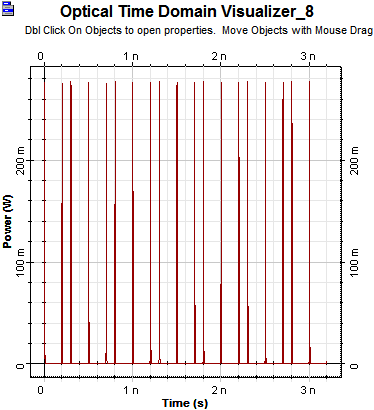


图 4-6 复用前的随即序列码

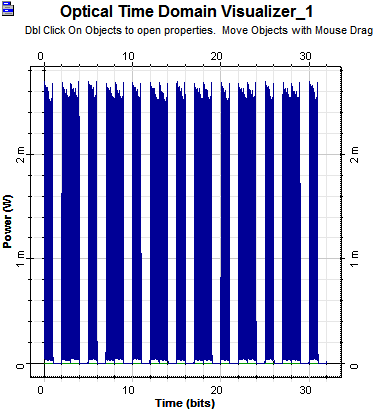


图 4-7 复用后产生的随即序列码

4.3 OTDM的解复用

OTDM系统复用完成以后，我们要对其进行一个解复用的过程，解复用会有许多种方法，例如：四波混频，光克尔开关，四波混频等。这里我们用到的是四波混频技术，解复用就是我们将低速率的光信号复用为高速的信号以后，我们要得到原来的信号，还需要对其进行一次解复用的过程，我们用解复用的过程如图4-8所示

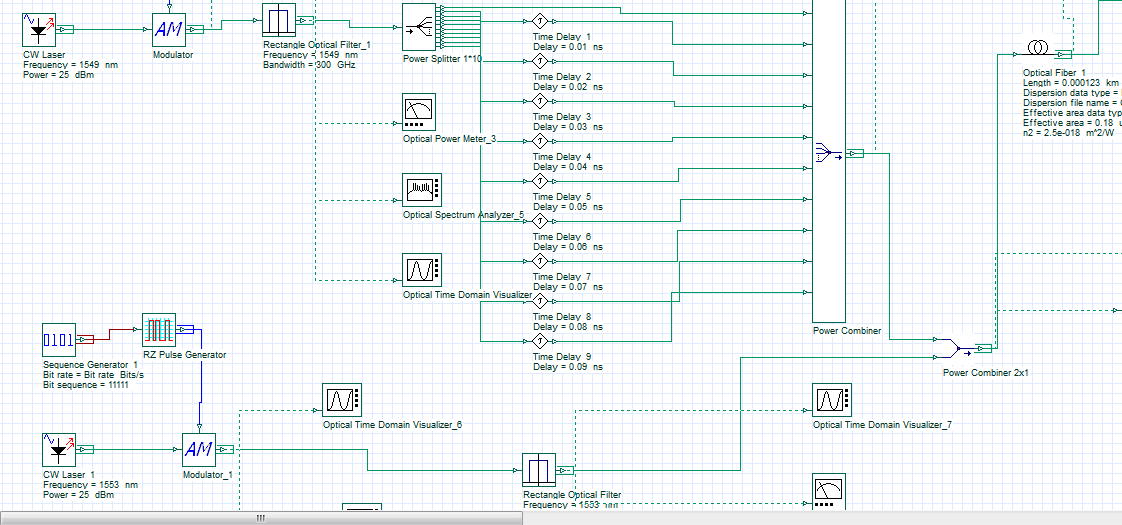


图 4-8 OTDM解复用过程

在这里解复用我们使用的是四波混频，发生的介质是波导，但是在里面没有波导这个元器件，因此我们就是把光纤改造成波导，就是使用前面仿真出来的波导，将它里面的参数导入进光纤中，这里将波导的色散生成一个以.txt结尾的文件，将这个文件导进去，经过查询得知硅材料的克尔系数为，将这些写入的光纤中，自己设定长度，这里设定的长度为12.3cm，这样我们就自己改造成功了一个波导，这个就是我们的非线性介质。

4.3.1 四波混频原理

四波混频就是两列波在非线性介质中作用后，发生的一系列作用。在这里我们选取的是比较特殊的情况，在这里的也就是研究最多的简并四波混频，只需要一束泵浦波就可以激发四波混频，在泵浦波的左边发生出现信号波，右边发生出现闲频波。

他要求的条件极其苛刻，要求相位必须对准，负责是不会发生明显的效果，甚至不会出现。在OTDM系统中我们是在脊形硅波导中发生的，因为它的条件极其苛刻，所以就要求我们的波导色散一定要小，色散降低到0左右，并且它的有效面积一定要小，因为波导的长度非常小，所以要在这么小的一个范围内一定要它的非线性系数特别大，这样才会有明显的反应。图4-9为光谱仪中观察到的在改造的波导中发生的四波混频之前的图像，图4-10为斯波混拼效应图像。

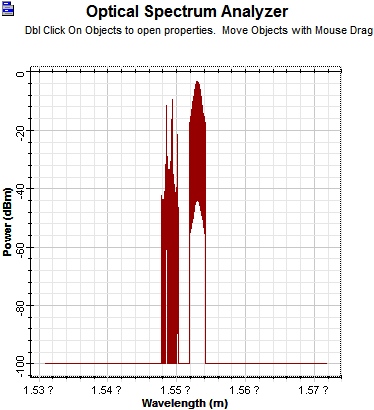


图4-9 光谱仪中发生四波混频之前

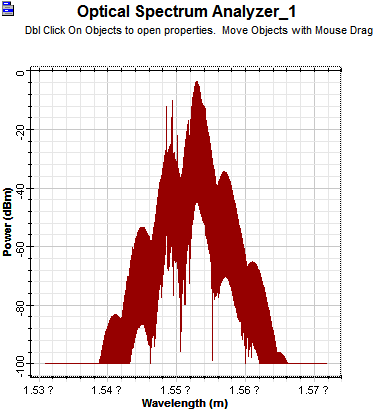


图 4-10 光谱仪中的四波混频效应

非线性系数如下公式所示:

, 4-1

在这里表示波导的模场面积，我们可以看到这里的面积和非线性系数是反比例关系，因为材料固定那么也就是固定的，是光速也是一个常量，因此模场面积小，那么非线性系数必然高。

从上面的图我们可以看到这个现象并不是特别明显，这就是所谓相位匹配的问题，相位相差为0的时候才会出现明显的现象。相位匹配的因素:

4-2

在公式中，都表示的材料色散，波导色散，非线性效应对相位失配的贡献，

= 4-3

从其他式子中可以提取，式中,在简并四波混频中(),三项可以表示为:

4-4

4-5

4-6

4.4 OTDM系统的验证

我们怎么知道我们传送的序列码，就是我们接收到的呢，因此我们就需要对发送的信号码和接收到的信号码做一个验证比对，这样就能直观的发现，接受端的信号，是发生四波混频以后，我们使用滤波器将闲频波过滤出来，使用闲频波是因为，发生四波混频的时候，闲频波是将信号波完全的复制过来，图4-11是滤波器过滤出来的闲频波，图4-12是发送端的信号码，图4-13是接受端的信号码。

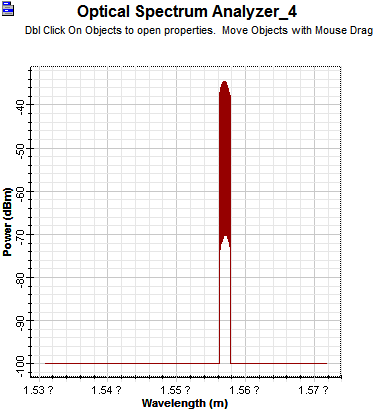


图 4-11 光谱仪中的闲频波

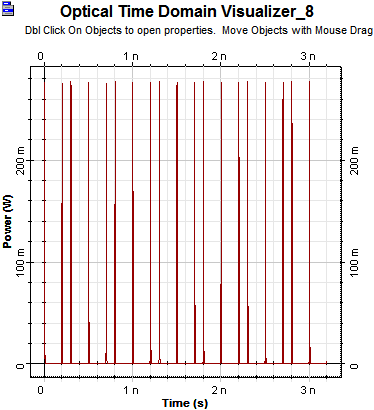


图4-12 发送端发送的信号

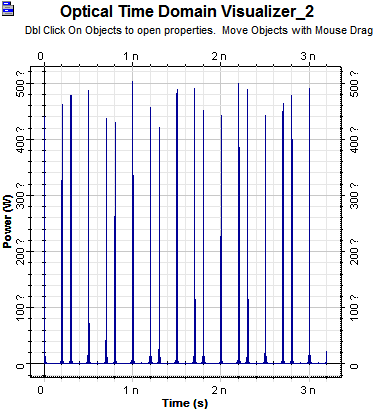
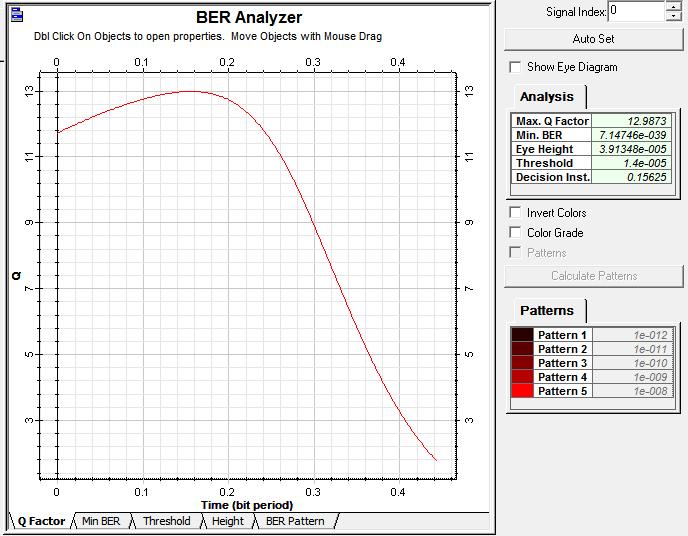


图 4-13 接收端发送的信号

我们可以看到发送端和接受端信号是完全一致的，因此设计的系统是没有什么问题的，可以看看发送过来以后，误码率分析，如图4-14所示，眼图如图4-15所示。

 图 4-14 误码率分析

从图中可以看出，这个系统的Q因子大小为12.9873,Min BER大小为这个相对还是比较小的，丢包的概率还是比较小的。

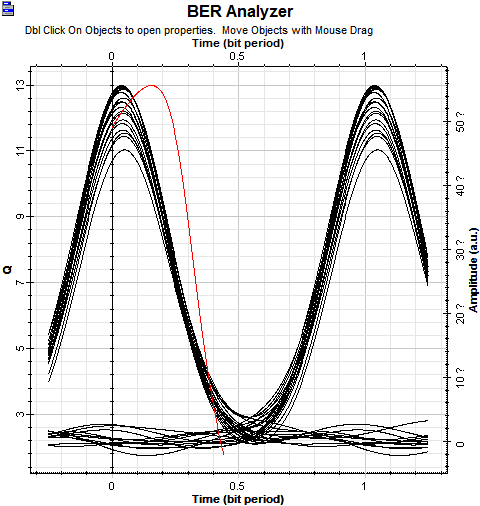


图 4-15 眼图

4.5 实验分析与计算

4.5.1 波导长度和Q因子,BER的关系

在波导中，波导的结构影响着我们的数据，因此我们需要分析下波导的长度对我们实验结果的影响，以确定出最优的方案，波导长度和Q因子的关系，如图4-16所示,Q因子越大效果越好。从图中我们可以观察到当波导的长度在12.7厘米的时候，Q因子是最大的。图4-17显示为BER和波导长度的关系，BER的值越小，效果越好，从图中可以看到当波导长度在12.7厘米的时候，BER值最小。

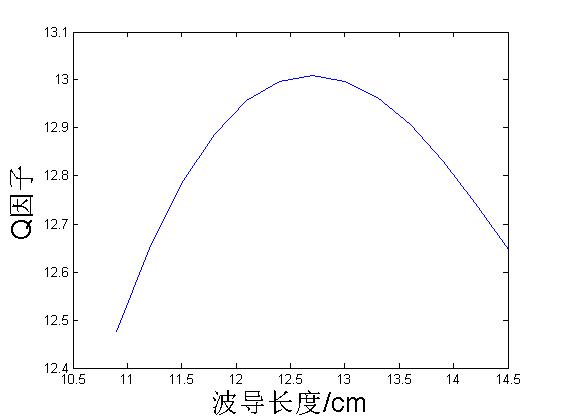


图 4-16 Q因子和波导长度的关系

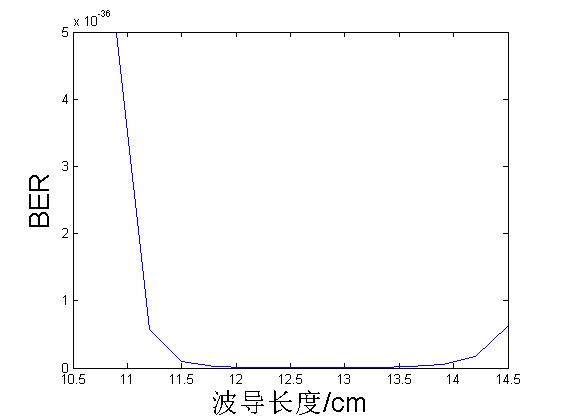


图 4-17 BER和波导长度的关系

从上面的两幅图中我们可以看到，波导长度对我们的传输还是很有影响的，在某一个临界点，我们的传输效果是最好的，丢包率也是最低的。

4.5.2 时钟信号光功率和Q因子,BER的关系

发生四波混频的时候，中心波功率对整个系统也是有相应的影响，具体的影响我们可以从图4-18上观察功率对Q因子的影响，图4-19上功率对BER的影响

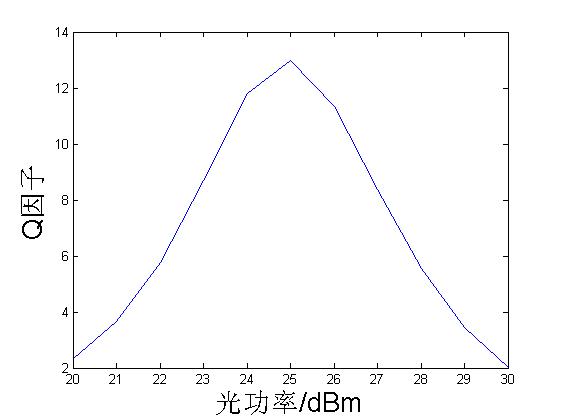


图 4-18 Q因子和中心波功率的关系

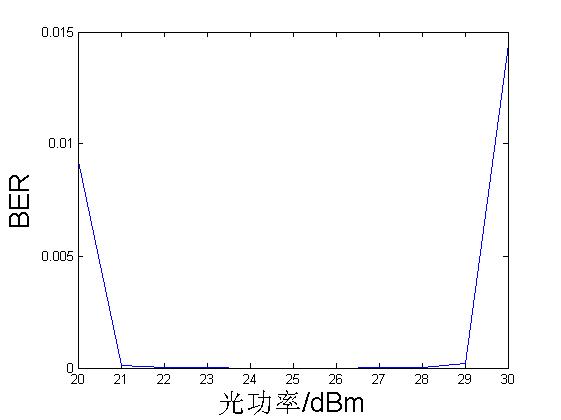


图 4-19 误码率和中心波功率的关系

从上面的图中我们可以看出当时钟信号的光功率在25的时候，传输效果是最好的。

4.5.3 光电探测器暗电流和Q因子,BER的关系

发生四波混频以后，我们将闲频波过滤出来，过滤的信号经过一个光电探测器，检测接收到的光信号，这里分析下光电探测器中的暗电流对结果的影响，分别如图4-20,4-21所示。

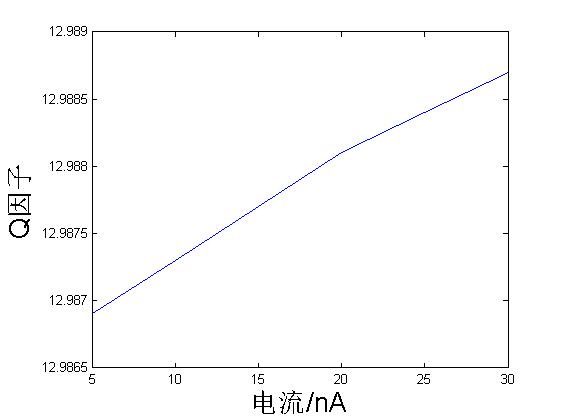


图 4-20 Q因子和光电探测器暗电流的关系

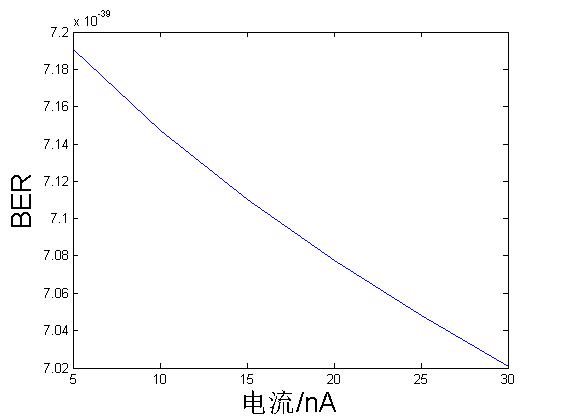


图 4-21 误码率和光电探测器暗电流的关系

我们可以从图中观察到，这里的暗电流对我们的试验中的参数基本上没什么影响，数据的变化不是太大。

4.5.4 滤波器带宽频率和Q因子,BER的关系

四波混频发生以后，闲频波是将信号波完全复制过来的，因此我们需要一个滤波器将闲频波的信号过滤出来，过滤的时候过滤不同的带宽频率对我们实验的影响也是很大的，具体如图4-22和4-23所示

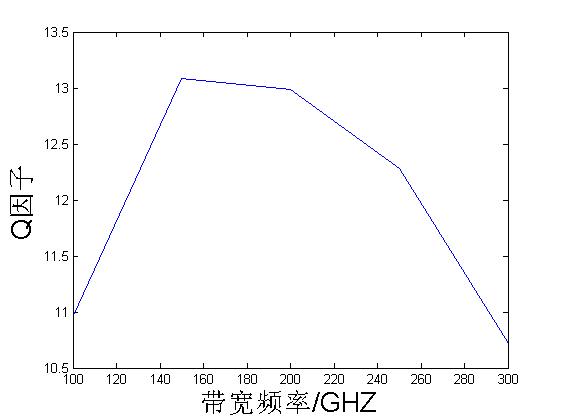


图 4-22 Q因子和滤波器带宽频率的关系

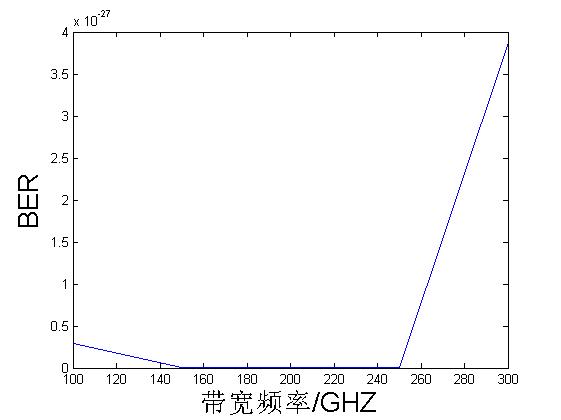


图 4-23 误码率和滤波器带宽频率的关系

从图中我们可以看到当滤波器的带宽频率在150GHZ的时候，这个时候效果也就是最好的，因此滤波器带宽频率对实验也有着重要影响。

1. **总结和展望**
   1. 总结

目前的信息发展速度比以往的任何时候都要迅速，因此催生了催生了许多新兴行业，但是信息的传递载体也需要跟上时代的脚步，安全可靠的传递高速的信息，这才是重中之重，這篇论文就涉及到信息传递过程中，对时间的一个高效利用，将时间分成若干等分，在每一个等份上传递信息，在时域上充分利用，提高传递效率，这样就达到我们的目的。

在论文中介绍了波导仿真的一些东西，我们使用软件来对波导进行仿真，仿真出来的波导，这个就是后期我们发生四波混频的非线性介质。仿真中使用我们使用了两路信号，时钟信号和脉冲信号，对其中脉冲信号延迟，四波混频做出了说明，验证了整个系统的传输正确性，分析个方面对误码的影响

* 1. 展望

目前自己学习到波导的设计以及时分复用系统还有很多需要完善的地方自己需要改进的地方还有很多，目前自己设计的波导的色散不是特别平坦，仅仅1.55处色散接近0，色散对实验的影响是非常大的，自己还需要在这方面继续优化完善。目前半导体材料的技术也在不断提高，在不久的将来相信半导体材料会带来革命性的改变。

**致谢**

首先非常感谢惠战强老师，在系统的设计中给了我非常多的帮助，给我指点了许多的东西，包括OTDM的原理，里面具体的设计实现，都给了我非常多的帮助，非常感谢他这段时间对我的耐心指导，对我的每一个问题都能认真对待。惠老师在学术上比较严谨，对专业知识的渊博程度都给我留下了深刻的印象，在此对他表示深深的感谢，感谢他这段时间的付出。也感谢实验室中的同学和研究生学长在我的实验中多次对我进行帮助，教会了我一些软件的使用，在这里向他们表示感谢。

最后感谢我的父母对我的栽培和养育，是他们成就了我的今天，让我收到了良好的教育。感谢我的母校西安邮电大学。