

# 采用多量子阱光折变器件的新型相干 光通信接收方案探索\*

石 珏 肖海桥 汤俊雄

(北京大学电子学系区域光纤通信网及新型光通信系统国家重点实验室, 北京 100871)

张治国 黄 绮 付盘铭

(中国科学院物理研究所, 北京)

**摘 要** 探索一种采用多量子阱光折变器件的新型相干空间光通信接收方案, 和传统的差拍方案相比, 可以省掉繁琐的中频跟踪电子学系统, 并对大气光通信传输常见的波面畸变、偏振面无规律变化及多普勒频移等干扰有所抑制。也报道了该方案零拍接收以及器件性能研究的实验结果。

**关键词** 多量子阱光折变器件, 空间光通信, 相干接收。

## 1 引 言

与微波通信相比光通信有码率高、容量大、体积小、重量轻、功耗低等优点, 近年来在空间通信尤其是外层空间通信领域引起了广泛重视。在光通信接收方案中, 外差检测比直接检测的信噪比高, 但在大气光通信中(包括卫星与地面站以及飞机与卫星之间的光通信), 应用外差接收的方案并不多见, 原因在于大气抖动及湍流会引起波阵面畸变、偏振面无规则变化以及多普勒频移等问题。文献[1]曾探讨过采用光折变铁电晶体的光通信外差接收方案。该方案建立在两波耦合相位共轭的基础上。由于铁电晶体响应慢(约 ms 量级), 该方案没有实用意义。本文探索一种新型空间相干光通信方案, 在原理上基于多量子阱(MQW)光栅的写入和读出机理, 具有完全不同于上述方案的特点。多量子阱器件是 90 年代刚刚走向实用化的新一代光电器件, 已有报道将这种器件成功地用于实时光学图像自相关<sup>[2]</sup>、时间信息和空间信息的相互转换<sup>[3]</sup>等领域。该器件具有灵敏度高、响应快的优点, 多量子阱饱和光强可小于  $1 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ 。考虑到该器件光束作用的有效面积约为  $1 \text{ mm}^2$ , 通信光写入量子阱光栅功率低于  $10 \text{ nW}/\text{mm}^2$ <sup>[4]</sup>, 这表明远地传输的微弱信号光可以写入光栅。另据报导垂直场配置下的多量子阱响应时间远比光折变铁电晶体响应时间短, 达到纳秒量级, 通过加清洗脉冲的方法可使器件达到  $1 \text{ GHz}$  的帧速度<sup>[5]</sup>。上述几个特点使多量子阱器件有可能用于光通信接收系统。

本文探索的新型相干光通信方案, 无需中频跟踪电子学系统, 且对于大气传输带来的诸

\* 国家自然科学基金资助项目(编号 69896260)。

收稿日期: 1997-10-03

问题皆不敏感,因此既有常规外差方案高信噪比的优点,又具有一些常规方案所不具有的新特点。

## 2 采用多量子阱器件的新型相干光通信接收方案工作原理

新通信方案如图 1 所示。设通信光载波波长为  $\lambda_1$ , 数字信号强度调制, 通信光接收到以

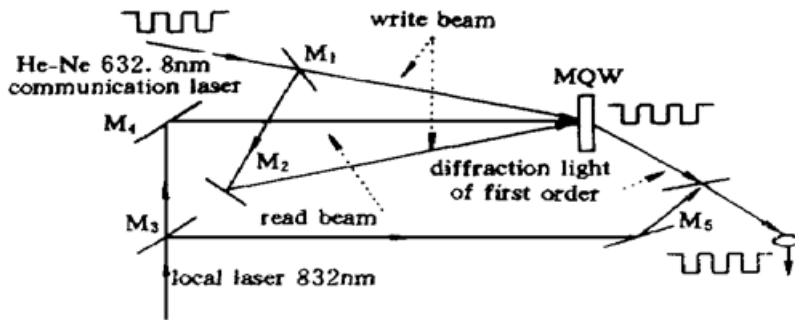


Fig. 1 Architecture of new coherent communication reception

后,由  $M_1$  和  $M_2$  镜分成两束光,会聚到多量子阱器件上。两束光相干迭加会产生明暗相间的条纹,即光强的不均匀空间分布。由于光折变效应,载流子浓度也有对应的空间分布,经过扩散及漂移过程以及材料的电光效应和电吸收效应,形成光栅(吸收栅和折射率栅)。

如上所述,数字信号的“1”码可以在多量子阱上产生光栅,而“0”码则不产生光栅。若多量子阱的响应足够快,数字信号就以干涉方式写入光栅。接收端设置本地激光器(波长为  $\lambda_2$ ),经  $M_3$  分成两束。一束经  $M_4$  入射到多量子阱作为读光,当有光栅时会产生一级衍射光。这样一级衍射光的强度将随接收到的信号光的数字调制而变化。这是一种变频过程,即数字信号的载频由远地通信光波长  $\lambda_1$  变换成本地光波长  $\lambda_2$ 。本地激光的另外一束经  $M_3$  反射后与读出光的一级衍射光(新通信光)合束射到光电检测器上,这就构成了采用多量子阱器件的相干接收方案。此方案和常规光外差方案比有明显的优点:

### 1) 省掉了繁琐的中频跟踪电子学系统

常规光外差方案中,通信光与本地振荡光是两个独立光源,有各自的频率漂移。为保证差拍后产生的中频信号始终位于中频系统的有效通带内,本振激光频率需要在中频跟踪电子学系统的控制下跟踪通信光频率。这种方案应用于空间光通信系统中难度相当大,原因有:

(i) 若通信光发射机置于飞行体上(例如飞机和卫星),会产生多普勒频移,这一问题是在空间光通信与光纤通信不同的特殊点。这会增加中频跟踪电子学系统的难度。

(ii) 通信光经过大气传输时,由于湍流的影响,波阵面会产生随机畸变,而且偏振面会发生无规律变化,这使得通信光与本振光的混频效率很低。

基于上述原因,在空间光通信中外差方案较少见。本方案的最大特点是采用了多量子阱器件。如上所述,本地激光分成两束,一束产生变频过程把信号光的调制信号转载过来,另一束参与相干检测产生放大作用。两束光来自同一激光器,具有相干性,差拍检测时不需要中频跟踪电子学系统。而且该方案对上述空间光通信所遇到的各种普遍性困难都有相当程度的克服:

(i) 关于多普勒频移的问题:通信光由于载体的运动产生多普勒频移(如在某些情况下卫星运动可产生约 11 GHz 频移),但并不影响在多量子阱上产生光栅。因此读光的衍射光仍能转载到数字调制信号,所以信号的变频过程与多普勒频移无关。

(ii) 关于大气抖动引起的波面畸变问题:信号光分成两束入射到多量子阱上相干,可调整光路使两束光的光斑完全重合,在相干迭加中位相相减,大气抖动引起的位相变化被减掉。因此这种波面畸变对干涉条纹影响不大,因而对于读光的变频过程不会有太大影响。

(iii) 关于大气引起的偏振面变化问题: 通信光在大气传输时会发生偏振面无规律变化, 在常规外差方案中, 会降低混频效率。而在本方案中, 通信光是分束自相干写入光栅, 只要光路调整得当, 偏振面的变化不会影响干涉条纹的产生。本地光分出的参与相干的两束光偏振面与大气无关, 完全可以自行调节, 所以不会影响相干检测效率。

## 2) 具有相干性滤波作用

本方案的变频过程依赖于通信光的相干性, 通信激光的相干长度决定了入射到多量子阱器件的光路设计。而从接收望远镜入射到多量子阱器件的背景光(如太阳经过地球及云层的散射光)是非相干光,  $M_1$ 、 $M_2$  镜所设计的光程可以明显大于背景光的相干长度, 也就是说背景光不会产生光栅, 因此也不具有上述的变频作用。从这个意义上讲, 本方案的相干接收原理也具有滤波的作用, 这是常规外差方案所不具有的新特点。通常空间光通信系统抑制太阳背景光是一个相当重要的问题。采用超窄带原子滤光器是一个好办法<sup>[6]</sup>。而本方案稍加改动, 由零拍改成内差方案, 再加中频滤波器, 不需加超窄带滤光器。

## 3 实 验

多量子阱根据加外电场方向不同有垂直场配置和平行场配置两种工作方式。以下实验结果除图 4 外, 皆为平行场配置。由本方案工作机理知道, 读光的衍射过程是重要的基本过程, 为此进行了衍射效率  $\eta$  (多量子阱一级衍射光与零级衍射光之比) 的实验研究, 并进行了采用多量子阱的零拍接收方案实验。

### 3.1 多量子阱器件衍射效率 $\eta$ 特性研究

#### 1) $\eta$ 与光栅间距的关系

由图 2 可见, 随着写入光栅条纹周期的增加, 衍射效率  $\eta$  也逐步增加, 原因是在平行场配置中, 载流子的反向扩散是降低器件衍射效率的主要原因。当光栅条纹间隔增加时, 就会减弱载流子反向扩散的影响。

#### 2) $\eta$ 与读光强度的关系

由图 3 可见, 读光强度大于一定数值时,  $\eta$  将随读光的增强而下降。这是由于读光对器件内部衍射光栅的清洗所造成的, 这就限制了读光强度的增大。但一般情况下写光(通信光)比较弱, 图中对应  $\eta$  较大数值的读光强度仍比写光大若干个量级, 这对通信系统信噪比有好处(见本文结束语)。

#### 3) $\eta$ 与读光波长的关系

由图 4 知, 多量子阱有明显的共振效应, 在读光波长  $\lambda \approx 835.6 \text{ nm}$  时, 可以得到最大的衍射效率( $\approx 0.87\%$ )。

### 3.2 采用多量子阱器件的零拍接收方案实验

实验布局如图 1 所示。He-Ne 激光作为通信光, 用斩波器模拟数字信号调制。

图 5 下线为通信光斩波信号 ( $f \approx 200 \text{ Hz}$ ), 上线为读光的一级衍射光。由图可见, 模拟数字信号已转载在本地半导体激光器的衍射光上。零拍接收的最大好处是对信号的放大作

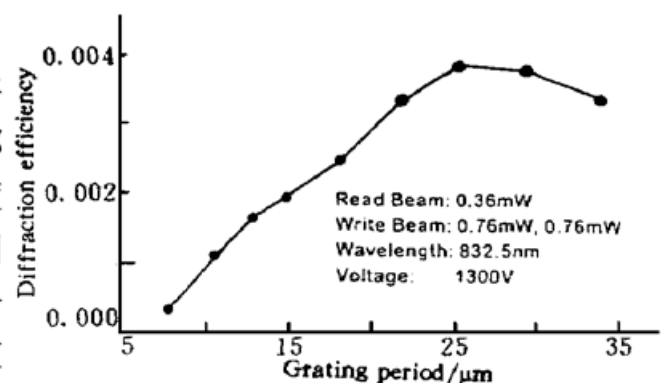


Fig. 2 Efficiency versus grating period

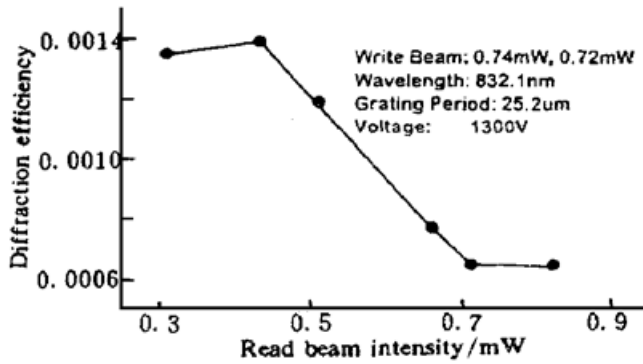


Fig. 3 Efficiency versus read beam intensity

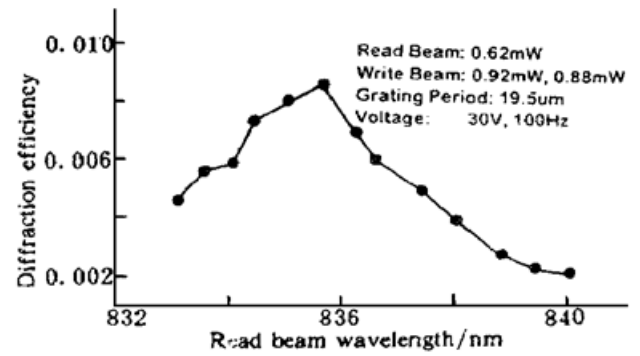


Fig. 4 Efficiency versus read beam wavelength (nm)

用, 由图 6 可以明显看到这种放大效果, 读光一级衍射光的数字信号被放大了 8 倍(由相对值 20 mV 放大为 160 mV)。此外还获得了差拍增益为 30 倍的结果。

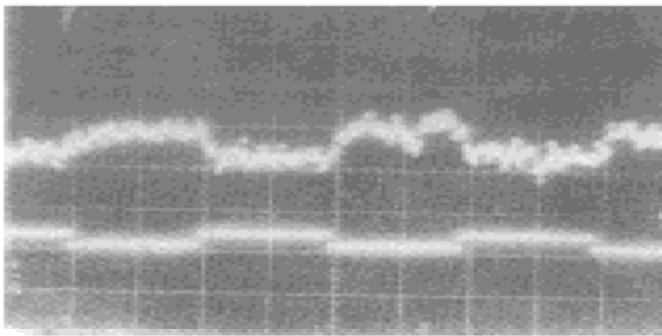


Fig. 5 Cutter signal and diffraction beam, X: 1.25 ms/div, Y: 20 mv/div

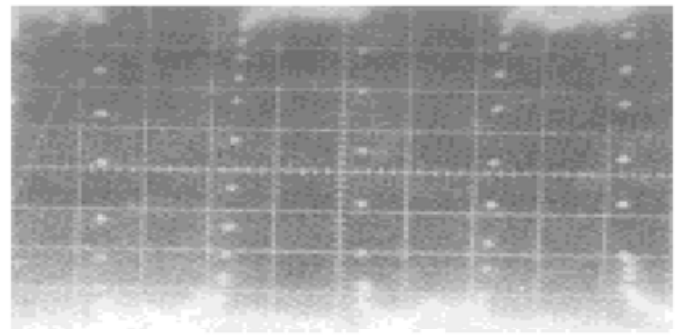


Fig. 6 Coherent reception output, X: 1.25 ms/div, Y: 20 mw/div

**结 语** 本文探讨了采用多量子阱器件的空间光通信新方案的工作机理, 并报道了初步实验结果。该方案有省略中频跟踪电子系统及抑制波面畸变等一系列优点。通信系统的关键问题是信噪比, 本文对此作了一些初步分析。

本方案的机理是进行了通信光及本地光的波长转换, 转换效率  $\gamma$  直接影响系统信噪比, 设写光强度为  $I_w$ , 读光强度为  $I_r$ , 读光的一级衍射光强度为  $I_d$ , 则有

$$\gamma = \frac{I_d}{I_w} = \frac{I_d}{I_r} \frac{I_r}{I_w} = \eta' \frac{I_r}{I_w}$$

式中  $\eta'$  为衍射光与读光强度之比, 目前报道的较好结果为 3%; 而读光可以做到比  $I_w$  高 2 个数量级以上, 因此  $\gamma$  可以大于 1, 这表明起变频作用的衍射光强度并不比写光强度弱。再考虑到差拍对衍射光的增益(一般估计应能达到 2~3 个数量级), 这样该差拍通信系统总增益与直接检测相比应有较大的提高, 再加上相干性滤波等机制, 信噪比应该优于直接检测方案。

本文实验探讨的是采用多量子阱器件的零拍接收方案。若采用声光及电光移频, 再相干接收, 并使用中频滤波器, 将比零拍接收方案更佳。这是作者的后续工作。

### 参 考 文 献

- [1] Qi-chi He, Joseph Shamir, J. Graeme Duthie. Wavefront conjugation and amplification for optical communication through distorting media: experiment. *Appl. Opt.*, 1989, **28**(2): 306~310
- [2] A. Partovi, A. N. Glass, T. H. Chiu *et al.*. High-speed joint-transform optical image correlator using GaAs/AlGaAs semi-insulating multiple quantum wells and diode lasers. *Opt. Lett.*, 1993, **18**(11): 906~908

- [3] Martin C. Nuss, Melissa Li, T. H. Chiu *et al.*. Time-to-space mapping of femtosecond pulses. *Opt. Lett.*, 1994, **19**(9) : 664~ 666
- [4] Hironori Sasaki, Jian Ma, Yeshaiahu Fainman *et al.*. Dynamics of a composite grating in photorefractive crystals for memory application. *J. Opt. Soc. of Am.*, 1994, **11**(9) : 2456~ 2470
- [5] Ergun Canoglu, Ching-Mei Yang, Elsa Garmire. Carrier transport in a photorefractive multiple quantum well device. *Appl. Phys. Lett.*, 1996, **69**(3) : 316~ 318
- [6] Tang Junxiong, Wan Qingji, Li Yimin. Experimental study of a model of digital space optical communication system with new quantum devices. *Appl. Opt.*, 1995, **34**(15) : 2619~ 2622

## New Coherent Reception Optical Communication Utilizing Photorefractive Multiple Quantum Well Device

Shi Jue      Xiao Haiqiao      Tang Junxiong

*(Local Optical Fiber Communication Network and Advanced Optical Communication System,  
National Key Laboratory, Department of Electronics, Peking University, Beijing 100871)*

Zhang Zhiguo      Huang Yi      Fu Panming

*(Institute of Physics, The Chinese Academy of Sciences, Beijing 100871)*

(Received 3 October 1997)

**Abstract** A new coherent reception space communication adopting photorefractive quantum device is discussed. The complicated intermediate frequency tracking electronics can be omitted in this system, as compared with traditional heterodyne reception. It is also capable of suppressing the interference such as wavefront distortion, random vibration of polarization and Doppler frequency shift, which are common to optical transmission in turbulent atmosphere between mobile vehicles. The experimental result of homodyne reception and the wavelength conversion characteristics of photorefractive quantum device are reported.

**Key words** photorefractive multiple quantum well device(MQW), space optical communication, coherent reception.