

基于全内反射的重铬酸明胶全息光互连器件的研究

徐建东 李峰 张雷 李淳飞 徐迈 郑杰 梁国栋

(哈尔滨工业大学应用物理系, 哈尔滨 150001) (中国科学院长春物理所, 长春 130023)

摘 要 研究了利用重铬酸明胶制备的基于全内反射的全息光互连器件, 实现了兰光记录, 近红外光再现. 计算出记录光束的入射角与再现光束的偏转角间的关系曲线以及记录光束的入射角与波长比的关系曲线. 器件衍射效率达 60%.

关键词 重铬酸明胶, 全息光栅, 光互连.

1 引 言

自 1984 年美国斯坦福大学的 Goodman 首先系统提出在超大规模集成电路(VLSI)中采用光互连的设想以来^[1], 人们相继提出了多种光互连方案^[2,3]. 实现全息光互连的关键在于高品质的全息互连元件的制作. 近年来, 国外成功地研制了用于印刷线路板间互连的光导板^[4]. 这种光导板既具有自由空间全息互连的灵活性, 又具有波导互连的可靠性、串音小及便于集成等优点. 因此, 国内外专家普遍认为, 这种互连光导板是一种很有实用前景的光互连器件. 目前国外已完成了 1 点对 1 点、1 点对多点的光互连实验, 但是可逆性和互换性的问题还没有解决, 即由任意一块印刷电路板发出的光信号, 其他印刷电路板均可接收. 本文以重铬酸明胶(DCG)为记录介质, 研制了基于全内反射的全息光互连元件——互连光导板, 实现了二级光互连, 且具有可逆性并进行了实验演示, 理论计算了有关的实验参数.

2 全息光互连器件的设计与制作

基于全内反射、工作于近红外波段的衍射-反射光互连结构如图 1(a)所示. 全息透镜光栅对入射光束进行准直并耦合进基底, 经计算使衍射角大于等于在基底材料中的全反射角. 另一全息透镜光栅将基底底面经一次或数次全反射回来的光束扇出并聚焦在探测器上, 光束在基板内呈锯齿形传输. 由于衍射光束与基板法线的夹角近 45° , 因此光束每折返一次, 其反射点的位置将平移约二倍基板厚度的距离. 在这些反射点处相应制作全息光栅, 可以依次将传输光扇出. 即每个扇出区对应一块印刷电路板. 由于全反射角是固定的, 电路板的间距和基板的厚度应根据具体情况选定. 图 1(b)给出了光导板的应用设计. 印刷线路板与光导板的

接口处为光电转换集成器件(激光二极管或光调制器和光电管)。这种互连方式不需要在基底表面的指定位置处镀制反射膜,光束在玻璃基底内以全反射的方式进行信息传输,传输效率因此得到提高。从这种基本的互连方式出发,我们可以设计出多种扇出方式的光互连用光导板。为使信号的传输准确,能被其他电路板有效接收,要求光栅设计非常精确。

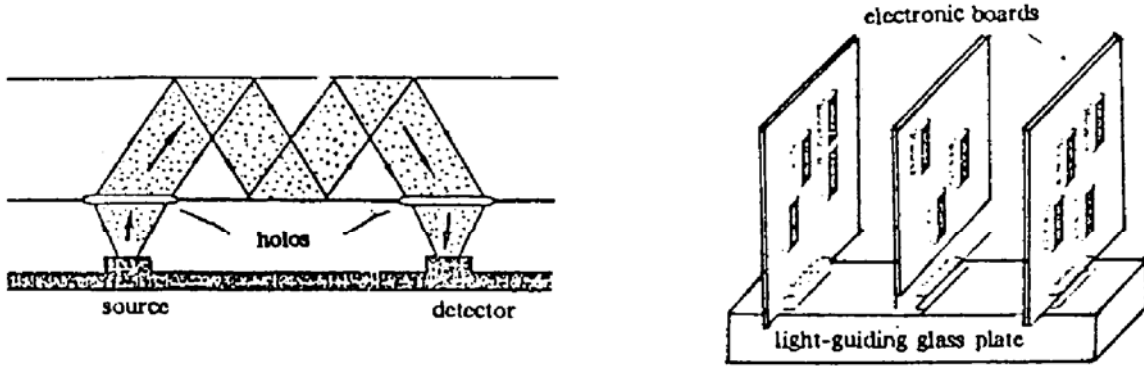


Fig. 1 Scheme of the light-guiding for optical interconnection.

(a) diffractive-reflective optical interconnect

(b) light-guiding glass plate for board-to-board interconnection^[4]

通过实验对比,本文选择了具有噪声低、衍射效率高等优点的重铬酸明胶(明胶为青岛产,分析纯)为记录材料。首先研究了重铬酸明胶的配制及涂膜工艺,细致研究了重铬酸明胶的曝光特性及其后期处理,制备了高品质的重铬酸明胶全息干板。由于重铬酸明胶对兰绿光敏感,而光互连技术中一般采用激光二极管作为光源,其工作波长在 800 nm 左右。因此,研究全息光栅的变波长再现具有重要的实用意义。制作重铬酸明胶全息光栅的记录光为 Ar⁺ 激光器输出的 488.0 nm 绿光,再现光为半导体激光器输出的 780 nm 的近红外光。这种全息光栅变波长再现的原理设计见图 2。图 2(a)表明了记录光波矢和再现光波矢与光栅矢量的矢量关系:光栅矢量 K 可以由两相干光波 K_{b1}, K_{b2} 形成。波长越长,波矢夹角越大。由于记录的是体全息光栅,因此,再现光通过光栅时,只有满足布拉格方程即矢量关系的光束才能被有效地衍射。图 2(b)显示了为实现全内反射变波长再现所要求的记录光束与基片法线的夹角关系。

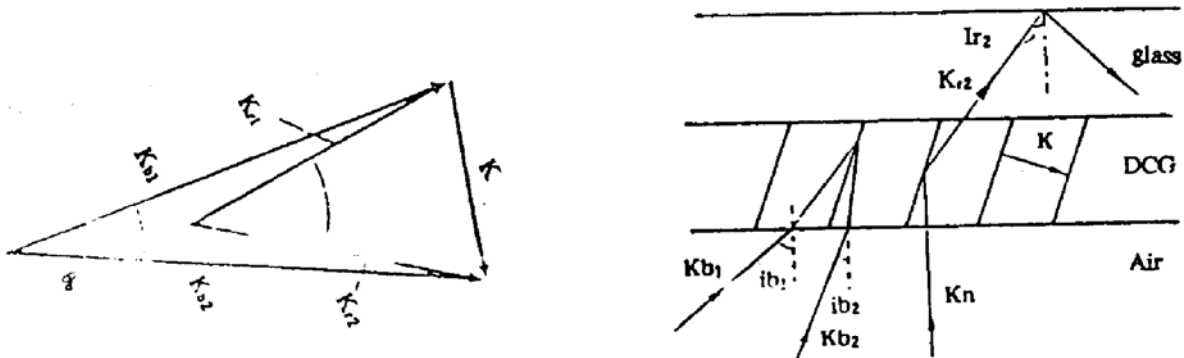


Fig. 2 (a) Relationship between grating vector K and wave vectors K_{b1}, K_{b2} or wave vectors K_{r1}, K_{r2} .

(b) Hologram recording with blue waves K_{b1} and K_{b2} . The geometry was chosen such that the diffracted red wave K_{r2} is in the plate by total internal reflection.

根据布拉格衍射定律和斯涅耳(Snell)折射定律,理论计算了记录光束夹角与再现光束偏角之间的关系曲线(见图3),在能实现全内反射的前提下,计算了上述夹角与记录波长和再现波长之比的关系曲线,如图(4)所示,尽管记录光波长与再现光波长的不同会导致色差的产生,但这一问题已得到解决^[5],依据理论曲线,可以确定记录光束的夹角。

依据图3的理论曲线,从再现光束发生全反射的条件出发(对应图中的竖线),确定了记录光束与基板法线方向的夹角分别为 10.1° 和 62.3° ,或由图4的理论曲线,对应记录波长 488 nm 和再现光波长 780 nm ,波长比为 1.6 ,亦可确定记录光束的夹角,为获得最大的体全息光栅衍射效率,还对重铬酸明胶胶膜的厚度和记录时的曝光强度进行了优化,最后的制作参数为:胶膜厚度 $10\text{ }\mu\text{m}$,曝光强度 100 mJ ,基板为 $10\text{ mm}\times 20\text{ mm}\times 50\text{ mm}$ 的K9玻璃。

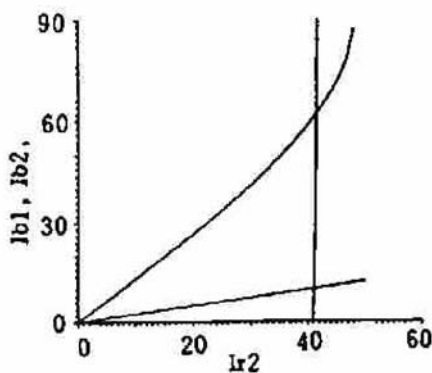


Fig. 3 Relationship curves of the recording angled vs the angle of the diffracted wave

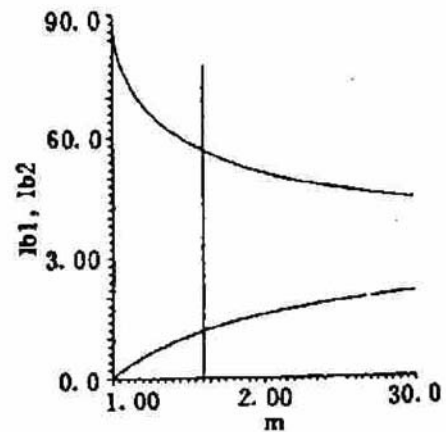


Fig. 4 Relationship curves of the recording angled vs the reconstruction — construction wavelength ratio under the required for a total internal reflecton

3 结果与讨论

图5为光导板的实验照片,照片中上方光束为垂直入射光,经全息光栅衍射后进入基底中,在光导板内经过三次全反射由另一全息光栅垂直扇出(下方光束),且具有可逆性,即从二个光栅中的任一个垂直入射,均可由另一光栅处垂直扇出,出射光束的效率达 60% 以上,明显高于国外报导的 12% 的水平^[6]。在全息光栅记录区改变入射光的入射点,可以通过扇出光的强度和角度变化检查光栅的均匀性,结果表明实验制备的光栅在 $10\times 10\text{ mm}^2$ 范围内均具有较好的均匀性,这为并行光通道的信号传输提供了条件:一方面可以保证光信号的并行传输,另一方面可以极大地减小通道间的交扰。

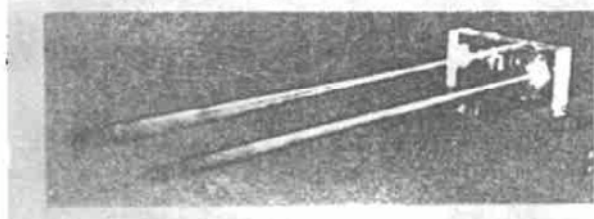


Fig. 5 Photograph of experimental demonstration

为实现电路板之间信息的交叉传输,要求光导板能实现双向或多向互连,即制备光栅分束器,通过多次或多光束曝光形成对于基片法线对称的多组光栅,作者已初步制备了双向光栅分束器,实现了1点对2点的互连:一束入射光垂直地入射光栅,分束后分别从两侧垂直扇出,但目前获得的光栅分束器衍射效率很低,未能拍照出可供发表的照片,在实际制作光栅过程中,影响光栅衍射效率的因素很多,其中最主要的是

曝光强度和胶膜厚度的控制. 理论计算的重铬酸明胶体全息光栅衍射效率可达 100%, 而实际获得的光栅衍射效率为 ~80%. 通过进一步优化实验参数, 还可以提高光栅衍射效率. 此外, 在实际应用中往往要求多点互连. 由于每互连一级, 传输光能量被扇出一部分, 根据对互连级数的要求, 必需整体考虑互连光栅的衍射效率, 对各个级次的光栅衍射效率进行有效控制, 以完成理想的光导板互连.

结束语 本文利用自制的重铬酸明胶全息干版成功地研制了基于全内反射的衍射-反射全息光互连器件——互连光导板. 根据记录光波和再现光波的波长关系, 可以采用计算得到的理论曲线十分方便地确定记录光束的夹角, 通过控制适当的胶膜厚度和曝光强度制作出能够变波长再现的高衍射效率的体全息光栅, 实现基于全内反射的光互连. 随着互连光导板制备技术不断提高, 性能进一步改善, 单片光导板的互连容量将逐步增加, 进而提高电子计算机的运算速度, 因此互连光导板具有很好的应用前景.

参 考 文 献

- [1] J. W. Goodman, F. J. Leonberger, S. Y. Kung *et al.*, Optically interconnections for VLSI systems. *Proc. IEEE*, 1984, **72**(7): 850
- [2] L. A. Bergman, W. H. Wu, A. R. Johnston *et al.*, Holographic optical interconnects for VLSI. *Opt. Engng*, 1986, **25**(10): 1109
- [3] R. K. Kostuk, J. W. Goodman, L. Hesselink, Optical imaging applied to micro-electronic Chip-to-Chip interconnections. *Appl. Opt.*, 1985, **24**(11): 2851
- [4] F. Sauer, Fabrication of diffractive-reflective optical interconnects for infrared operation on total internal reflection. *Appl. Opt.*, 1989, **28**(2): 386
- [5] M. R. Latta, R. V. Pole Design techniques for forming 488 nm holographic lenses with reconstruction at 633 nm. *Appl. Opt.*, 1979, **18**(10): 24
- [6] K. H. Brenner, F. Sauer Diffractive-reflective optical interconnects. *Appl. Opt.*, 1988, **27**(20): 4251

Fabrication of DCG holographic optical interconnects based on total internal reflection

Xu Jiandong Li Feng Zhang Lei Li Chunfei

(Department of Applied Physics, Harbin Institute of Technology, Harbin 150001)

Xu Mai Zheng Jie Liang Guodong

(Changchun Institute of Applied Physics, Chinese Academy of Science, Changchun 130023)

(Received 24 November 1993)

Abstract The fabrication of diffractive-reflective optical interconnects with dichromated galatin (DCG) based on total internal reflection was studied in this paper. We have realized the idea of construction-reconstruction wavelength shift. The relationship curves of the recording angle vs the angle of the diffracted wave and the recording angles vs the reconstruction-construction wavelength ratio were obtained. The diffraction efficiency of the device was more than 60 %.

Key words dichromated galatin (DCG), hologram grating, optical interconnection.