

微米亚微米有限凹槽衍射特性的实验研究*

郑师海 李德华 陈岩松

(中国科学院物理研究所, 北京 100080)

戴 伦

(北京大学人工微结构与介观物理国家重点实验室, 北京 100871)

(1995 年 5 月 11 日收到)

应用微电子制板技术、电子束扫描曝光和离子刻蚀技术研制成功微米、亚微米级宽度的凹槽结构, 并对其进行了衍射特性的研究, 实验测试数据表明了这些凹槽的明显的矢量衍射特性.

PACC: 4210

一 引 言

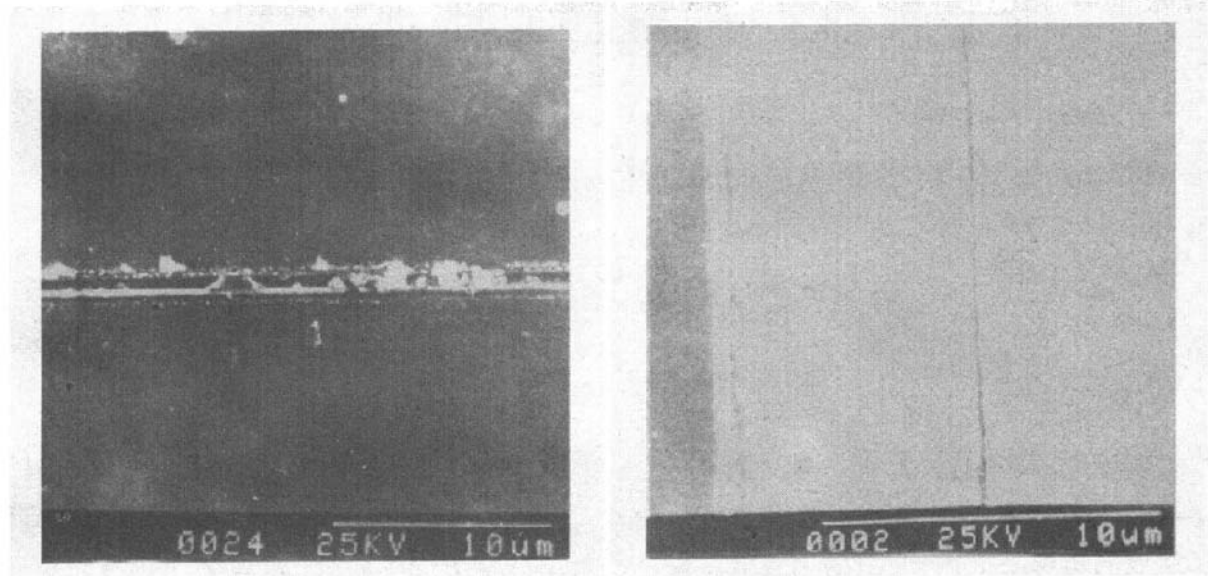
近年来, 介电物质表面浮雕型光栅结构的衍射特性, 特别是单个沟槽的宽度接近或小于所使用的光波波长的衍射性质的研究, 由于它的科学意义和在诸多方面的广泛的应用前景, 例如在量子电子学、集成光学、光谱学、分布反馈激光器、分布 Bragg 反射激光器、激光束的偏转、光波导耦合器、波长多路调节器和解调器等方面, 都受到众多学者的重视与注意. 尤其是在当前光学领域中新出现的光学分支——二元光学研究中, 对于这种波长级的刻槽结构的衍射性质的了解, 其需求性更是迫切. 这是因为光波的标量理论仅适用于那些细微结构尺寸远大于波长的衍射问题. 一旦当这种细微结构尺寸接近或小于所使用的波长时, 它的衍射特性用标量理论已不能完满解释, 而必须应用电磁矢量衍射理论去分析问题. 然而不幸的是目前电磁矢量衍射理论还不完备和不成熟, 仅对一维问题存在某些理论分析方法, 例如耦合波理论等^[1-4]. 在实验方面, 甚至这种一维刻槽结构的矢量衍射测量数据的报道目前还十分有限^[5]. 因此, 无论从学术上或从二元光学的发展上, 开展电磁矢量衍射研究尤其是从实验上进行研究是十分必要的. 本文从实验上研究测量了诸种槽宽接近或小于光波波长的凹槽结构的衍射角分布, 以及光的偏振方向与衍射的关系, 获得了一些有意义的结果.

二 实 验

矢量衍射实验测量用的样品是各种宽度的一维凹槽结构, 它们由下列二种技术方法

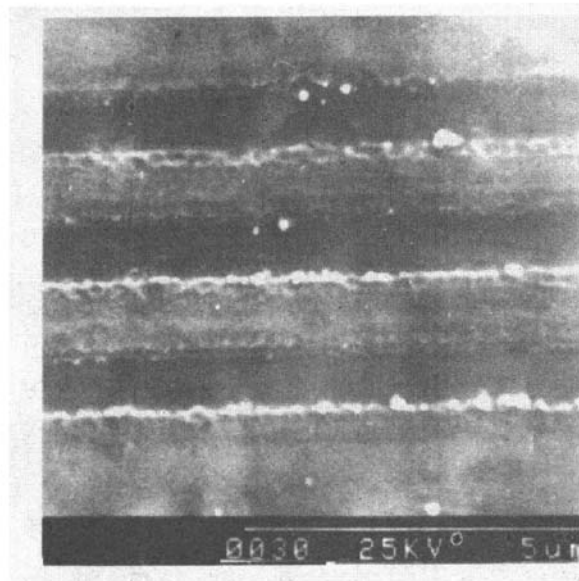
* 国家自然科学基金和北京市中关村地区联合分析测试中心资助的课题.

制备,一种是电子束扫描技术,另一种是微电子光刻制版技术.电子束扫描技术是在光学石英玻璃片基上蒸镀一层铬,再在其上涂上电子感光胶,用电子束扫描曝光而产生浮雕图,然后通过离子轰击的方法,把感光胶上的沟槽转移到石英玻璃片基上,除去剩余的铬层,形成实验需要的凹槽,如图 1(a),(c)所示.微电子光刻制版技术,同电子束扫描技术一样先在光学石英玻璃片基上蒸镀一层铬,然后在其上涂上感光胶,通过模版精缩曝光的手段,并经过化学处理和离子刻蚀工艺,除去剩余的铬层,得到实验需要的凹槽结构版,如图 1(b)所示.上述两种制备实验用样版方法各有其优缺点,前者由于众所周知的感光胶厚度与分辨率有关,因此刻槽的深度受到限制;后者则由于亚微米宽度刻槽已接近光学衍射极限,在现有技术条件下,很难得到理想的亚微米级矩形刻槽,从图 1(b)就可以看出



(a)电子束扫描制版技术制备的单凹槽

(b)特殊微电子制版技术制备的双凹槽



(c)电子束扫描制版技术制备的三凹槽

图 1 部分凹槽结构的扫描电子显微镜照片

其槽形不是理想的矩形.提供实验测量用的是一组具有不同槽宽的单凹槽、两个刻槽宽度一致但间距不同的双凹槽和一个三凹槽,共七个实验测量样版,它们的刻槽宽度和深度参数参见图 3 中说明,刻槽的长度分别为 50 和 100 μm 二种.全部刻槽样品都是矩形的凹槽结构.

凹槽结构的衍射性能测量的实验系统示于图 2 中.实验系统中使用输出功率为 20 mW 的氦氖激光器作照明光源,衍射光强的探测使用线性好的光电倍增管,凹槽结构的样片安装在由步进马达带动的齿轮盘上,衍射光的角谱分布测量范围为 180° ,测量的角度步长最小可达 0.02° .被测样品放置在齿轮盘中心底盘的定轴上,并带有调节

装置以保证样品在测量中的位置和测量所需要的方向. 我们规定光的电矢量 E 平行于刻槽方向定义为 TE 波和磁矢量 H 平行于刻槽方向即电矢量垂直于刻槽方向为 TM 波. 实验使用的氦氖激光器是线偏振的, 为了实验的可靠性, 这两种偏振方向的光是这样得到的, 即在激光器输出束中先插入一偏振片, 然后再加一半波片, 利用其旋转分别得到 TE 和 TM 两个方向的偏振光. 此外, 为了增强衍射光的强度, 对入射光束进行缩束处理, 使尽可能多的入射光照射在凹槽结构上, 这样衍射光的强度得到很大提高.

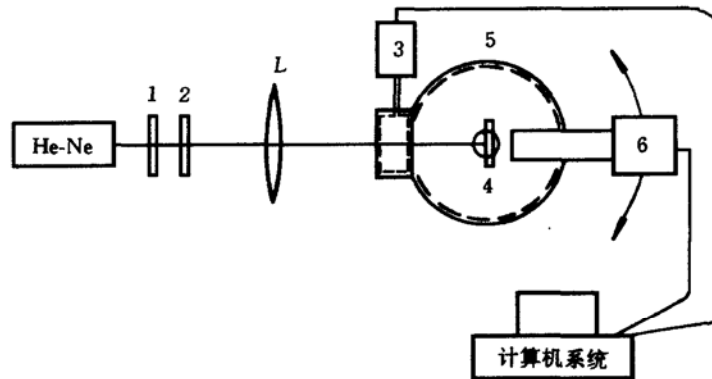


图 2 测量衍射强度能量角分布的实验系统示意图 1 为检偏器; 2 为半波片;
3 为步进马达; 4 为样品架; 5 为齿轮盘; 6 为探测器; L 为透镜

实验中, 将被测样片置于样品架上, 调节凹槽方向使它垂直于实验台面, 并保持样片中心位于光轴上, 然后调整光电倍增管的位置, 让它的扫描轨迹始终保持在衍射光同光轴所组成的扇形平面内. 光电倍增管前放置一平行于刻槽方向的狭缝, 相当于 0.2° 透光角, 保证衍射角谱的角分辨率. 实验测量时, 用微机控制光电倍增管的转动和实时采集数据. 对于 TE 与 TM 二种偏振方向的入射光, 和各种不同参数的凹槽样片, 测量了它们的衍射强度波的角分布.

三 实验结果与分析

图 3 给出了各种不同槽宽不同刻蚀深度的单槽、双槽与三槽的衍射强度的角分布的实验测量结果, 每组衍射角曲线的对应凹槽样片参数列在图 3 的说明中. 其中图 3(a), (b) 两组呈现出比较大的噪声, 这是由于凹槽窄边沿刻蚀得不够光滑所致. 另外, 在除图 3(g) 以外的所有图示中, 在零级附近的一个小角度范围内, 光强都达到饱和测量, 这是为了在有限的测量装置的动态范围内, 把衍射角谱的角度可测范围尽可能的扩大些. 自然 5° 范围内, 由于零级光的存在, 这是一个非可测区.

图 3 所示的实验结果表明, 这种亚微波波长槽宽的刻槽衍射强度角谱, 不仅与凹槽具体结构即刻槽宽度、深度有关, 而且与入射光的偏振方向有关. 一般讲, TM 波的衍射强度大于 TE 波的, 并且槽宽愈窄, 这种趋势愈明显, 从图 3(a) — (d) 可以看出. 仔细观察图 3(e) — (g) 表示的衍射强度角分布曲线, 开始时 TM 波的衍射强度大于 TE 波的, 随着角

度的逐步增大,二者衍射强度逐渐接近,甚至 TE 波的强度大于 TM 波的强度,角度继续增大时, TM 波的衍射强度又开始大于 TE 波的,也表明其矢量特性.以上这些结果用标

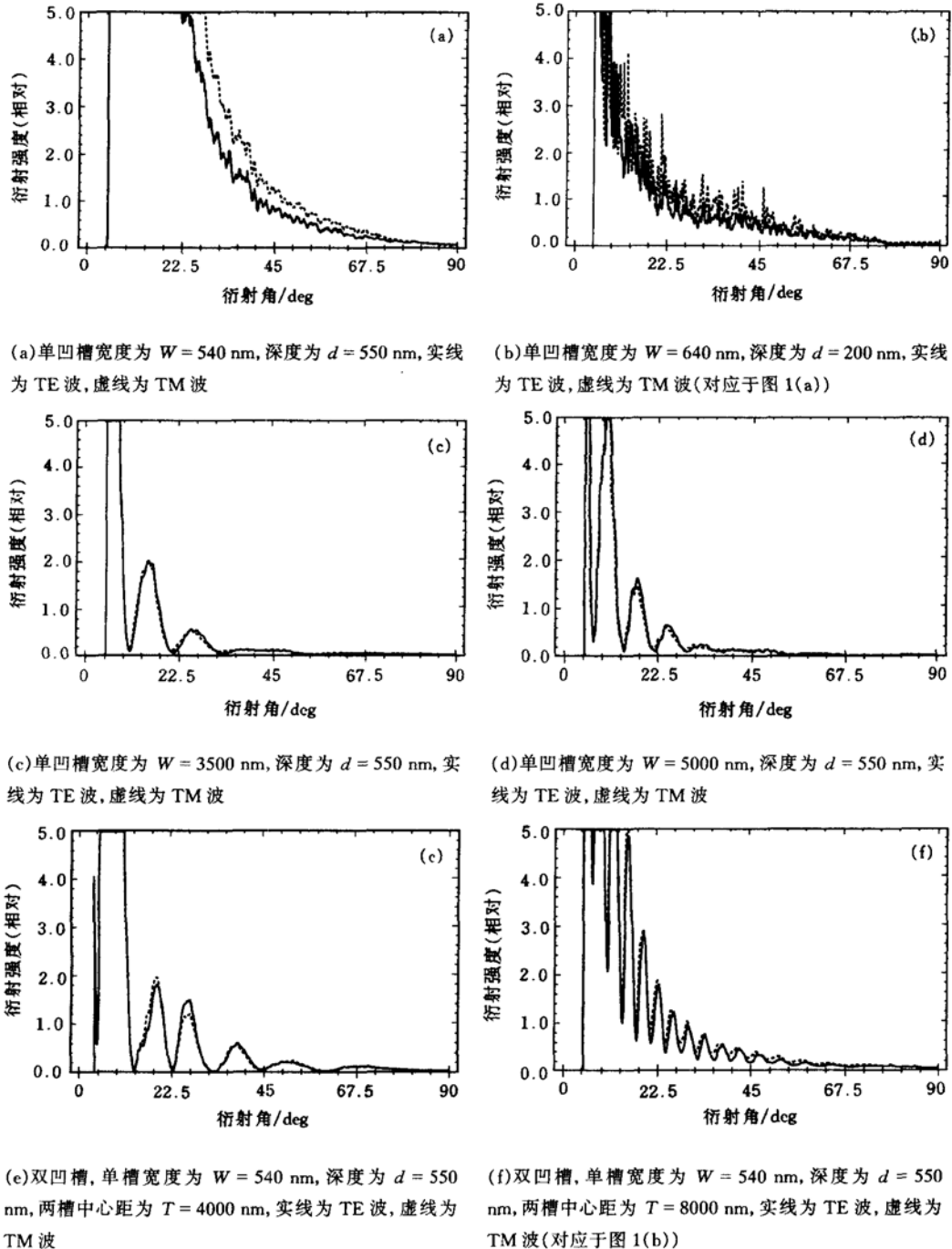
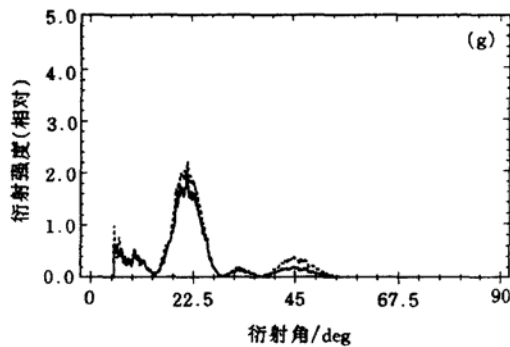


图 3 衍射谱强度的角度分布



(g) 三凹槽, 单槽宽度为 $W = 880$ nm, 深度为 $d = 200$ nm, 周期为 $T = 1900$ nm, 实线为 TE 波, 虚线为 TM 波(对应于图 1(c))

图 3 衍射谱强度的角度分布

量衍射理论是不能够很好解释的. 因为标量衍射理论是在其宽度大大于入射光波的波长下使用的, 衍射角谱与光的偏振方向无关, 只与刻槽的宽度有关, 从图 3(a)—(d) 可以看出, 其中图 3(d) 给定的刻槽宽度, 已基本上看不出由于光波偏振的衍射差别. 实验结果表明这种矢量特性, 还待于理论上的分析研究, 以明了其物理本质.

- [1] M. G. Moharam and T. K. Gaylord, *J. Opt. Soc. Am.*, **72**(1982), 1385.
- [2] Y. Kok, *Appl. Opt.*, **32**(1993), 2573.
- [3] D. Raguin and G. M. Morris, *Appl. Opt.*, **32**(1993), 2583.
- [4] E. Sidick, A. Knoesen and J. N. Mait, *Appl. Opt.*, **32**(1993), 2599.
- [5] Lü Hui-bin, *Acta Physica Sinica (Overseas Edition)*, **2**(1993), 180.

EXPERIMENTAL STUDY ON DIFFRACTIVE PERFORMANCE OF CONCAVE GROOVES WITH SUBMICRON WIDTH

ZHENG SHI-HAI LI DE-HUA CHEN YAN-SONG

(Institute of Physics, Academia Sinica, Beijing 100080)

DAI LUN

(State Key Laboratory for Artificial Microstructure and Mesoscopic Physics,

Department of Physics, Peking University, Beijing 100871)

(Received 11 May 1995)

ABSTRACT

In this paper, a group of concave grooves with micron and submicron width was designed and fabricated by using photolithography, electron-lithography and ion etching techniques, and their diffractive performance was investigated in experiment. The experimental measured data show that the grooves have the feature of vector's diffraction.

PACC: 4210