

3512
邹海兴
张凤林

860811
中科院上海技研所
天津大学精仪系

论文
860811
860820

带双投影物镜和全息屏幕的投影型全息显微镜

徐 昆 贤

(上海市激光技术研究所)

提要: 本文提出了一种可用于集成电路装配和质量控制的、带有双投影物镜和全息光学元件散射全息屏幕的投影型全息显微镜 (PHM) 系统。介绍了该系统的光学原理、全息散射屏幕的记录方案、系统色差的改善和投影显微系统的特性。

Projection type holographic microscope (PHM) with double projection objectives and a holographic screen

Xu Kunxian

(Shanghai Institute of Laser Technology, Shanghai)

Abstract: A projection-type holographic microscope with double projection-objectives and a holographic screen used for integrated circuits assembly and quality control is described. The optical principle of PHM, recording scheme of holographic dispersion of screen and relative parameters of PHM are discussed.

一、引 言

近代各工业部门对微型电路和精密零件等的装配操作和质量控制仍使用经典的双筒立体显微镜。但是,显微镜观察极易导致观察者视力和体力的迅速疲劳,从而导致产品质量和劳动生产率的下降。

为了克服显微镜观察的上述缺点,一种可行的办法是把物体的像投影在屏幕上来进行观察。这种观察与在显微镜出瞳处的(约1~3mm)观察相比,它有大得多的观察区域,因此对观察者来说就更为舒适。但是,一般光学仪器中所使用的透过型散射屏对入射

在其上的光通量是按宽角均匀散射的。因此只有极小一部分光线进入眼瞳。加之,待观察的零件一般都采用反射照明,所以屏幕像亮度极低。同时,上述屏幕也不能形成三维图像。所以普通透过型散射屏幕是不能用于获得高亮度三维显微放大图像的。

建立在双目视差基础上的体视术和建立在对物体信息进行干涉编码基础上的全息术是提供物体三维显示的两种有效技术^[1]。但上述两种方法均存在着对信息编码和解码的比较复杂的过程。全息术干涉编码对外界干扰十分敏感,因此总是要在严格的稳定条件下才能进行。同时全息图用激光解码的过程

收稿日期:1986年8月11日。

也比较复杂,价格也较昂贵。体视术则需要
在均含有每个像信息的两支光束之间有完全
的独立性,因此必须对投影像进行特殊的颜
色或偏振编码,并用合适的眼镜(如颜色滤光
片或偏振镜)解码^[2]。

本文采用了一种兼有体视术和全息术二
者各自优点的组合型的三维显微投影观察系
统。其原理是基于把来自立体显微镜物镜并
经由投影目镜放大后的两个物体像投射在用
傅里叶全息术记录的全息散射屏幕(HDS)
上。由于该HDS的聚焦和定向散射特性,因
此可形成具有各自独立通道的两个单眼观察
区域的立体对,从而建立三维视觉。

二、PHM的光学系统

图1和图2为该PHM的光学投影原理
和光学系统。它利用双筒显微镜物镜和投影
目镜二次放大接长,并利用全息屏幕代替显
微镜目镜实现屏幕像三维投影观察。显微物
镜部件A和斯密特(Schmidt)棱镜9、10形
成待检物体的两个中间像11,并借助于两个
投影目镜12和反射镜13、14把中间像投影
在HDS上。为了增加屏幕象的亮度采用与
HDS密接安装的聚光镜系统15。同时,由于
聚光镜和HDS的共同作用会导致把原直径
1mm左右的显微镜出瞳变换为直径约
50mm、距屏幕250mm(相当于明视距离)、
中心距等于65mm(相当于平均眼基距)的
两个单眼观察的视觉区域。由于观察区域
大,观察者在观看屏幕像时可相对于屏幕作

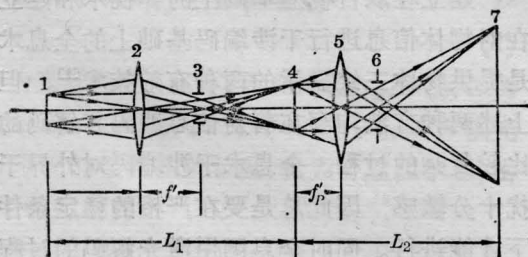


图1 PHM的光学投影原理

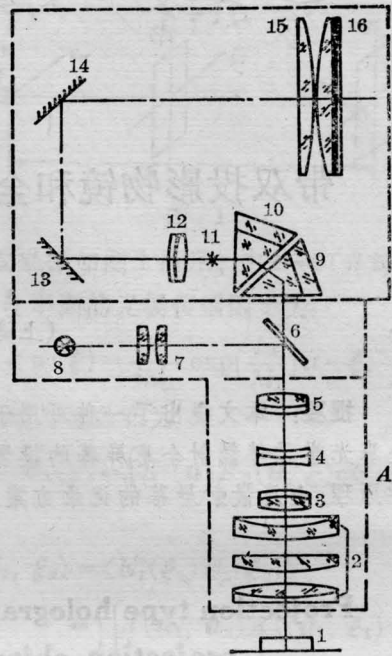


图2 PHM的光学系统

1—微型零件; 2—1X物镜; 3—变倍物镜; 4—补
偿物镜; 5—固定物镜; 6—半透板; 7—聚光镜;
8—卤素灯(12V/50W); 9、10—斯密特棱镜; 11—
中间像; 12—投影目镜; 13、14—反射镜; 15—聚
光镜; 16—HDS

某些自由移动,从而可大大降低视力和体力的
疲劳。仪器采用12V/50W卤素灯8、聚
光镜系统7及半透板6所组成的共轴入射方
式来照射物体1。这种共轴照明方式特别适
用于诸如电子学和冶金学中的平的镜面物
体的照明。在这种情况下,通常可以看到集
成电路硅衬底和不同掺杂的电路线条结构之
间的不同干涉彩色,从而提高了人眼的视觉
锐度和分辨率。

三、全息散射屏幕

由全息光学元件组成的全息屏幕^[3]能
形成把投射在其上的像聚焦在规定的视觉区
域内,因此有高的屏幕像亮度。但一般透过
型散射屏幕由于零级辐射存在,因此可看到
投影物镜的瞳孔。为了在观察时看不到投
影物镜的瞳孔,必须使用具有会聚能力的散
射屏

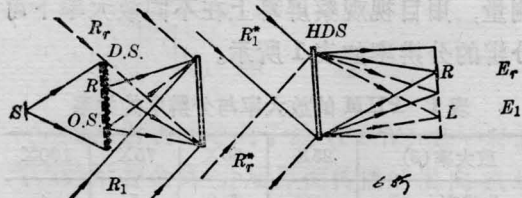


图3 双曝光HDS的记录和再现几何学

幕。这种屏幕的作用原理可看作是聚焦全息图和毛玻璃散射器的组合作用的结果。

我们可用双曝光全息图(DEH) 和无透镜傅里叶变换全息图(LFTH)的记录方法来记录上述的全息散射屏幕。

1. 双曝光 HDS 的记录(图3)

双曝光 HDS 的记录过程: 用参考光束 $R_{左}$ 记录右半边散射屏(左边一半用不透光屏挡掉)发出的散射光所记录的第一张全息图。然后, 把不透明屏移到右半边, 用参考光束 $R_{右}$ 记录迭加在第一张全息图上的第二张全息图。显影后当用 $R_{左}$ 和 $R_{右}$ 共轭光束再现时, 由于全息图的角选择性就可再现散射屏的左、右实像。当观察者的眼睛位于再现平面时, 每只眼睛仅接收来自 $R_{左}$ 和 $R_{右}$ 所再现的两散射光束中的一束。于是就能形成有三维景深的体视像。但这种双曝光 HDS 由于记录时物光束与参考光束之间的大夹角。所以全息图的光谱带宽减小, 故对宽带白光再现不利。

2. 无透镜傅里叶变换 HDS 的记录

该记录系统如图4所示。由氩激光器发

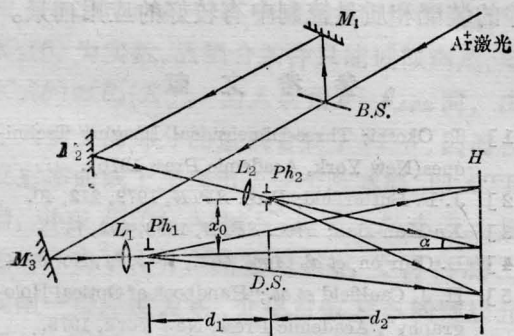


图4 无透镜傅里叶变换全息图 HDS 的记录几何学

出的激光束用分束器分为物光束和参考光束。物光束由反射镜 M_3 反射和由显微物镜 L_1 和小孔 ph_1 滤波后照明毛玻璃散射屏 $D.S$, 由 DS 散射的光再进而投射在重铬酸盐明胶(DCG)记录介质上。参考光束由反射镜 M_1 、 M_2 反射并经由位于 DS 同一平面处的 L_2-ph_2 滤波系统后直接投射在 DCG 介质上。在全息图上所记录的为一簇等间隔的条纹, 这就是 LFTH。

本系统的 HDS 系采用 LFTH 的记录方案。其记录系统的参数如下(参见图4):

$$d_1 = 178 \text{ mm}, d_2 = 250 \text{ mm},$$

$$\alpha = 13^\circ 30', x_0 = 60 \text{ mm}.$$

经处理后的 HDS 有 $>80\%$ 的衍射效率。为了免受机械损伤和环境湿度的影响, DCG 全息图屏幕用盖板玻璃密封。

为了再现 LFTH, 我们必须对全息图进行傅里叶变换。这可以运用全息图的夫琅和费衍射花样来做到。傅里叶变换也可以在用准直光照明的透镜焦平面处被观察^[5], 如图5所示。如果把全息图直接放在透镜(焦距为 f')之后, 则零级就在焦平面的原点处。在光轴二侧是二个再现像——实像及其共轭像。它们对光轴是对称的。实像是倒的, 其中心位于 $x'_d = (f/d_2)x_0$ 。共轭像是正的, 中心在 $x'_c = -(f/d_2)x_0$ 。

现在我们研究 HDS 在 PHM 中的工作原理。当 HDS 受来自投影目镜的光束照明时, 由 HDS 衍射成零级和 ± 1 级的三束光。在系统光路安排中使 $+1$ 级光沿着系统的光轴方向前进, 而零级与 -1 级为寄生光束, 我们用光阑消除之。此外, 我们在 HDS 之前

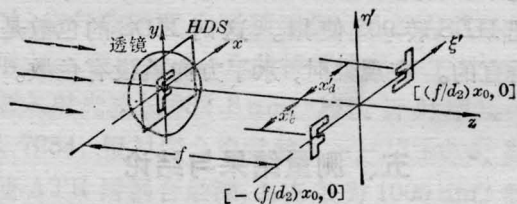


图5 LFTH 的实像再现

加了一组与 HDS 密接安装的聚光镜。该聚光镜系统有双重作用：一是它能将投影物镜出瞳转换为位于观察区域处的投影物镜出瞳像；二是作为再现 LFTH 的准直透镜。这样一来，投影物镜出瞳像（即系统的视觉区域）以及由 HDS 所再现的 HDS 像均位于聚光镜系统焦点处。

四、PHM 的色散

这种 LFTH 屏幕对应用单色光能保证两通道很好地分开。但对白光，HDS 的色散会使左、右像出现一定程度的重迭，从而影响两通道的独立性。

HDS 色散服从全息光栅衍射定律：

$$nd(\sin \theta - \sin \theta') = \lambda, \quad (1)$$

式中， θ 为再现光束在光栅上的入射角； θ' 为衍射光束在光栅上的出射角； d 为条纹间距； n 为全息图乳剂折射率； λ 为再现波长。

由于波长变化所引起的输出角的变化可用微分(1)式来求得：

$$\Delta\lambda = nd \cos \theta \Delta\theta, \quad (2)$$

我们定义色散为由波长变化所引起的衍射输出角的变化。于是把(1)式代入(2)式，得 HDS 的色散为：

$$\Delta\theta / \Delta\lambda = 2 \tan \theta / \lambda, \quad (3)$$

式中， θ 为散射屏某一点发出的光束与参考点源发出的光束之间的夹角。

由(3)式可知：在观察区域的不同部分，色散将是不同的。这是因为在 HDS 不同点处的 θ 是变化的。

为减少屏幕色散的影响，我们采用参考光束和物光束垂直配置的记录几何学，然后把 HDS 转 90° 使用。这时 HDS 的色散是垂直的。在观察时，水平方向就没有色散。

五、测量结果与结论

我们用半导体厂用的反射鉴别率板进行

测量，用目视观察屏幕上在不同放大率下可分辨的分辨率如表 1 所示。

表 1 PHM 的放大率与分辨率的关系

放大率(β)	25X	50X	75X	100X
分辨率(μm)	8	5.9	5	4

图 6 为 PHM 的在 100 倍时所分辨的分辨率照片。由图中可见第三单元的第六组能清晰分辨。这时分辨率为 $3.5 \mu\text{m}$ 。

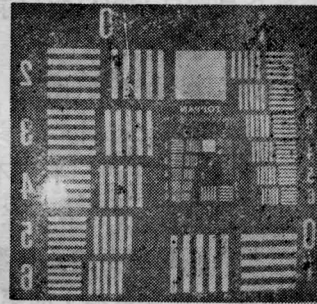


图 6 PHM 的分辨率照片

由[6]可知，对于有小投影放大率和大的屏幕距离来说，用单透镜投影是可行的。而对于有大放大率和小的屏幕距离来说，用双透镜（甚至是多透镜）投影系统则更为合理。双透镜投影的优点是为了实现左右眼分开的双视觉区域的三维观察，不必要建立其宽度不小于人眼基距（ $\sim 65 \text{mm}$ ）的视觉区域。

对 PHM 的性能测试表明，它的放大倍率大，分辨率高和立体感强，并有较为舒适的观察条件。在集成电路、印刷电路板及精密零件的装配和质量控制中有较好的应用前景。

参 考 文 献

- [1] T. Okoshi; Three-Dimensional Imaging Techniques (New York, Academic Press 1976).
- [2] J. F. Butterfield; *Proc. SPIE*, 1979, **212**, 40.
- [3] Xu Kun-xian; *Proc. SPIE*, 1983, **402**, 71.
- [4] D. Courjon, et al. *Appl. Opt.*, 1982, **21**, No. 3804
- [5] H. J. Caulfield et al.; "Handbook of Optical Holography", Academic Press, New York, 1979.
- [6] 徐昆贤;《仪器仪表学报》,1983, **4**, No. 4, 358.