

内注入重离子 $10^{20}/\text{cm}^2$, 那么金属中的离子注入工艺就可完全商品化了。

此外,从靶室的角度来考虑,一般半导体器件体积小,形状简单。而金属方面除了研究用的以外,一般作为零件,形状都较复杂,且体积要比半导体器件大得多。所以要求靶室有足够的空间体积,能在一定的真空度下,允许工件在靶室内旋转和平移。同时由于强流注入,靶片发热严重,因此靶室内靶片的冷却也要特殊考虑。

目前,强流注入机的研制,正是国际上注入机研究的一个突破点。预计1980年前将有10mA的强流注入机问世。此外,英国还在研究一种结构较为简单(仅用气体源,省去磁分析器)、适应大部件注入(靶室为 $\phi 2.5\text{m} \times 2.5\text{m}$)

的专用金属材料注入机(如图10)。

随着上述两类注入机的研究进展,金属中离子注入的研究将会得到迅速的发展。

参 考 文 献

- [1] S. T. Picraux, *Applications of Ion Beams to Materials*, (1975), 183—195.
- [2] S. M. Myers, *Applications of Ion Beams to Metals*, (1974), 283—294.
- [3] J. M. Poate, *Appl. Phys. Lett.*, **25** (1974), 698—701.
- [4] 鸭下源一, *金属表面技术*, **26-12**(1975), 14—19.
- [5] S. M. Myers, *Met. Trans.*, **7A** (1976), 795.
- [6] J. E. Antill, *Proc. Int. Conf. on Ion Implantation in Semiconductors and Other Materials*, (1973).
- [7] N. E. W. Hartley, *AERE-R9065*, (1978).

扩展消模糊滤波片动态范围的一种方法

董碧珍 郑师海 鄂云 杨克敏

(中国科学院物理研究所)

一、前 言

众所周知,在空间平移不变的系统中模糊图象可以用消卷积的方法通过空间滤波进行处理^[1]。

实际上,一般空间滤波片密度值为2左右,很少超过4。这样,它的密度值不能满足宽广的消模糊传递函数的动态范围的要求,使得图象处理效果受到影响。为此,我们研究一种用非相干光方法制作滤波片,既能扩展滤波片的动态范围,又能修正滤波片胶片的非线性。

二、滤波片的制作

在消卷积图象处理系统中,滤波片的消模糊传递函数为

$$F = \frac{1}{H} = \frac{1}{|H|} \cdot e^{-i\phi}$$

式中 H 为成象系统的模糊传递函数; $|H|$ 为模糊传递函数的振幅分量; $e^{+i\phi}$ 为模糊传递函数的位相分量。很明显,可以分别制作振幅分量和位相分量的滤波片,然后紧贴在一起,即构成完整的消模糊滤波片^[2]。

1. 用非相干光方法制作未修正的振幅滤波片

假设模糊传递函数为 $H(\xi, \eta)$, 对于圆对

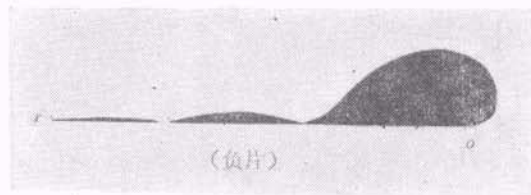


图1 透明的膜片(MASK)

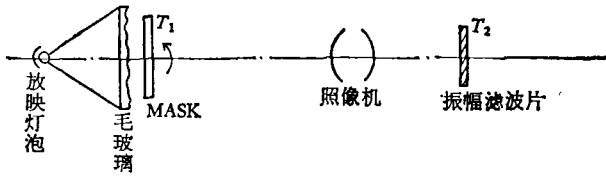


图2 非相干光装置制作振幅滤波片

称的模糊传递函数,可以把 $H(\xi, \eta)$ 写为径向分布的函数形式, $\theta(r) = \pi|H|^2$. 用 $\theta(r)$ 函数制作透明的膜片 (MASK), 如图 1 所示.

图 2 装置就是用非相干光方法制作振幅滤波片,把透明膜片中心 O 对准光轴,用均匀的非相干光源对匀速转动的膜片进行曝光,胶片经过严格处理后,即为振幅滤波片.

这种滤波片的 γ 值可由下面的式子确定. 振幅滤波片的透过率为

$$T_2 = E^{-\gamma/2} = (I_0 T_1 t)^{-\gamma/2},$$

式中 E 为胶片的曝光量, γ 为胶片的 γ 值, I_0 为光源的光强度 (包括光路及照相机的衰减), t 为胶片的曝光时间, T_1 为透明膜片的透过率, $T_1 = \theta(r) = \pi|H|^2$. 把 T_1 代入 T_2 , 即得

$$T_2 = (I_0 t \pi)^{-\gamma/2} \cdot |H|^{-\gamma}.$$

由于 $(I_0 t \pi)^{-\gamma/2}$ 是常数,所以 T_2 比例于 $|H|^{-\gamma}$.

根据振幅滤波片的要求, $F = \frac{1}{|H|}$.

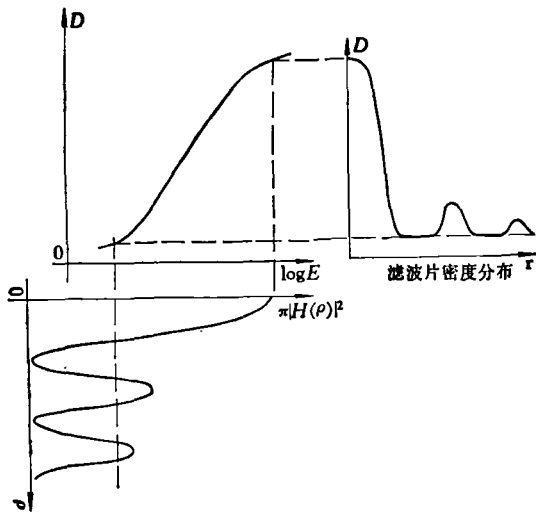


图3 由于胶片 H-D 曲线的非线性效应,造成滤波片密度分布的失真

$$F = T_2 \sim \frac{1}{|H|},$$

说明用这种膜片制作的滤波片的 γ 值为 1.

但是,由于胶片的 H-D 曲线的非线性和密度动态范围的限制,使得制作的滤波片不能线性地反映消模糊传递函数. 如图 3 所示,在 H-D 曲线中的肩部和趾部,滤波片的密度分布出现失真. 为此采用人工修正膜片的方法^[3],对胶片的 H-D 曲线进行修正.

2. 用非相干光方法制作修正振幅滤波片

根据 H-D 曲线的特性,即 γ 值愈高, D 值也愈高. 可以用一条 $\gamma > 1$ 的曲线与 $\gamma = 1$ 的直线合理相交,交点曝光量为 $\log E_0$, 如图 4 所示. 这条 $\gamma > 1$ 的曲线即为滤波片修正的依据. 很明显,修正后的 H-D 曲线就是一条理想的 $\gamma = 1$ 的直线. 这样制作的滤波片,既扩展了动态范围,又修正了非线性. 只要修正图 2 中膜片函数,就能修正滤波片乳剂的非线性特性. 以下推算修正曲线的函数.

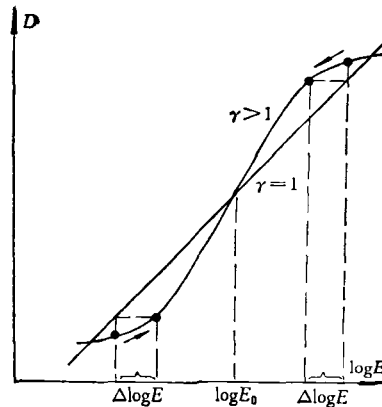


图4 H-D 曲线修正的示意图

未修正滤波片 T_2 的曝光量为

$$\log E = \log (I_0 T_1 t) = \log (I_0 t) + \log T_1.$$

在图 4 中,可看出修正前后曝光量差为 $\Delta \log E$.

修正后滤波片 T_2 的曝光量为

$$\begin{aligned} \log E' &= \log E + \Delta \log E \\ &= \log T_1 + \Delta \log E + \log (I_0 t) \\ &= \log \theta(r) + \Delta \log E + \log (I_0 t), \end{aligned}$$

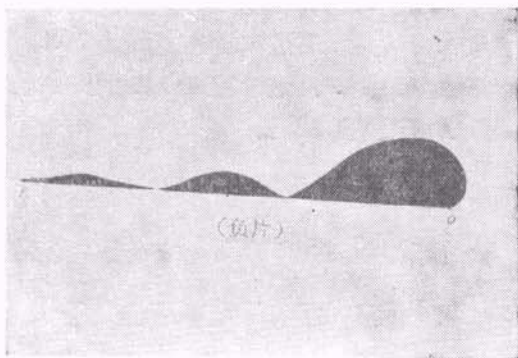


图5 修正后的膜片

此式中,第一、二项是可变的,第三项 $\log(I_0 t)$ 是常数。令 $\log \theta'(r) = \log \theta(r) + \Delta \log E$, 则

$$\theta'(r) = \theta(r) \cdot 10^{\Delta \log E}$$

该 $\theta'(r)$ 就是修正后膜片曲线的函数。当 $\log E > \log E_0$ 时, $\Delta \log E$ 取负号,即减少曝光量;当 $\log E < \log E_0$ 时, $\Delta \log E$ 取正号,即增加曝光量。 $\Delta \log E$ 可在实际胶片特性曲线中测得。

根据 $\theta'(r)$,可以制作修正后的膜片。利用该膜片,在图2装置中可以制得修正的滤波片,分别见图5和图6。

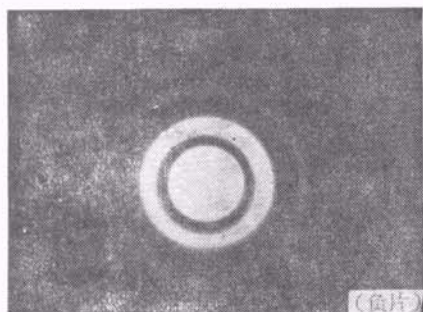


图6 修正后的振幅滤波片

3. 用相干光方法制作纯相位滤波片

滤波片的相位分量为 $F_\phi = e^{-i\phi}$ 。可以用图7装置制作。在该装置中, L_1, L_2, L_3 为傅氏变换透镜;在 P_1 平面上放置被处理的模糊圆斑,即点扩展函数 $h(x, y) = \text{circ}(r)$;在 P_2 平面上放置修正振幅滤波片,其中心对准光轴心;在 P_3 平面上引进参考束光源,通过 L_3 后为

$R = e^{-i\beta}$, β 为参考光束的位相角;在 P_4 平面上放置全息干板,制作全息图,漂白后它的透过率为 $F_\phi = e^{-i(\beta-\phi)}$,这就是所需要的纯相位滤波片。经过显影定影漂白处理后的相位滤波片,一定要严格复位,否则影响处理效果。

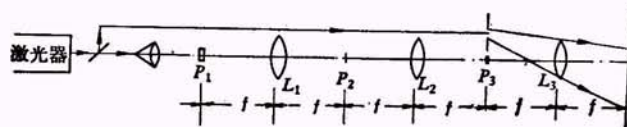


图7 制作相位滤波片装置的示意图

三、实验结果

1. 胶片 H-D 特性曲线

根据多次反复实验的结果,选择 $\gamma = 1.53$ 的H-D曲线作为被修正的曲线,见图8。在本实验中,采用Kodak 649F干板作为记录振幅滤波片。所用的显影液是D-165,稀释到10:1,显影时间为12分钟,定影时间为10分钟,显影、定影液温度均为 20°C 。

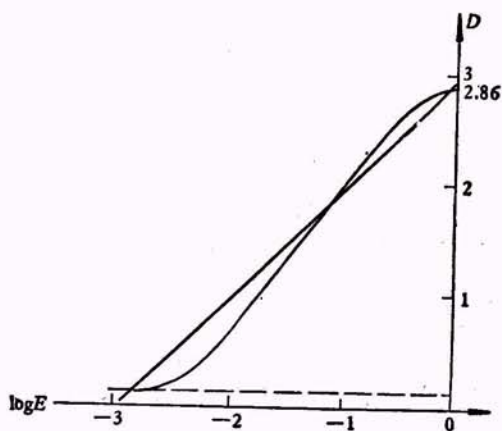


图8 胶片的H-D曲线(本实验采用光栅曝光所以横坐标是负的)

2. 振幅滤波片的密度分布

利用扫描密度计对所制作的修正振幅滤波片进行扫描,可以得到滤波片的密度分布,见图9。从该结果中可以看到修正的效果,即不管是在密度值高的部分还是在密度值低的部分基本

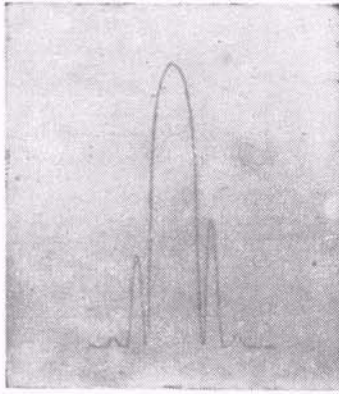


图9 滤波片的密度分布(左右两旁密度值不相等,是由于膜片转动不均匀造成的)

正后的滤波片,最高密度值达 2.9 左右,最低密度值为 0.12 左右,透过率动态范围为 24.1。理论计算值应为 28.6。这个差别是由于实验误差和测量仪器误差造成的。

3. 模糊图象的处理

处理系统如图 10 所示。它在图 7 装置上多加一块傅氏变换透镜。被处理的图象(见图 11)和振幅滤波片(见图 6)分别放置在 P_1, P_2 平面上,相位滤波器严格复位在 P_4 平面上。在 P_5 平面上可以观察到处理后的图象,它的照片在图 12 中示出。这就说明了一个模糊圆斑,利用这种滤波片进行光学消模糊处理后,可以恢复到原来的 $1/3$ 。

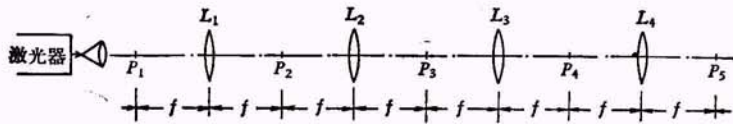


图 10 相干光模糊图象处理系统示意图

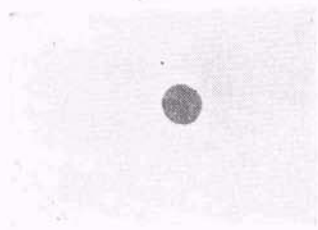


图 11 被处理的模糊圆斑

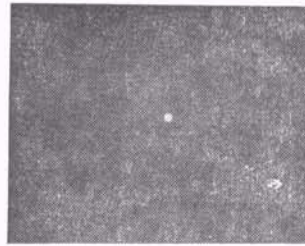


图 12 处理后的圆点

该处理系统,虽然比一般处理系统多两个傅氏变换透镜,但它的方便之处是可以分别调节振幅滤波片和位相滤波片的中心,使之处理效果最好。

四、讨论

在理论上,滤波片密度的动态范围愈宽,处理效果愈好。这里用恢复传递函数概念来讨论图象恢复程度^[4]。

定义恢复传递函数: $H_r = H \cdot \left(\frac{1}{H}\right)'$, $\left(\frac{1}{H}\right)'$ 是实际滤波片的消模糊传递函数,即实际

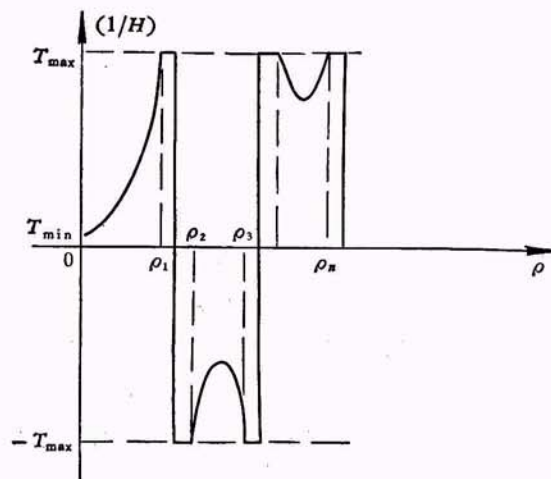


图 13 实际滤波片的透过率

滤波片的透过率。

对离焦系统而言, 模糊传递函数 $H = 2J_1(\pi a \rho) / \pi a \rho$, 理想消模糊传递函数 $1/H = \pi a \rho / 2J_1(\pi a \rho)$, 这里 a 是模糊圆斑的直径, 实验值 $a = 0.5 \text{ mm}$, ρ 是滤波片的空间频率。

为了计算简便, 密度的动态范围可以用相对应的透过率动态范围 $T_{\min} - T_{\max}$ 表示, 所以实际滤波片的消模糊传递函数为

$$\begin{cases} (1/H)' = \pm T_{\max} & |T| > T_{\max}, \\ (1/H)' = \pi a \rho / 2J_1(\pi a \rho) \cdot 2T_{\min} & |T| \leq T_{\max} \text{ (见图 13)}. \end{cases}$$

当 $\rho = \rho_1, \rho_2, \dots, \rho_n$ 时,

$$(1/H)' = [\pi a \rho_n / 2J_1(\pi a \rho_n)] \cdot 2T_{\min} = T_{\max},$$

它又可写为

$$\pi a \rho_n / 2J_1(\pi a \rho_n) = T_{\max} / 2T_{\min}.$$

这就说明消模糊传递函数包含有与对应密度动态范围 D 有关的量 ρ_n , 可以用不同的密度动态范围, 计算出 H_r 的数值, 在理想情况下, 因为 $(1/H)' = 1/H$, 所以 $H_r = 1$ 。

为了形象地说明, 用 $h_r = \mathcal{F}\{H_r\}$ 的归一化曲线形状来评价图象恢复的程度。显然, 在理想情况下, h_r 是 δ 函数, 说明模糊圆斑是完全恢复到一个圆点。利用上面关系, 可以推算出

$$\begin{aligned} h_r = & \sum_{n=1}^N (-1)^{n+1} \frac{\rho_n J_1(2\pi \rho_n r)}{r} \\ & + \frac{4}{a^2 \pi} \text{circ}\left(\frac{2r}{a}\right) - \frac{4}{a} \sum_{n=1}^N (-1)^{n+1} \\ & \times \int_0^{\rho_n} J_0(2\pi r \rho) J_1(\pi a \rho) d\rho, \end{aligned}$$

式中的 r 是恢复图象的半径。从该公式可以看出, 不同的动态范围, 对应不同的 ρ_n , 根据不同的 ρ_n , 可以计算出 h_r 曲线的不同形状。

我们选取一些不同的动态范围 $D=2, 2.5, 3, 3.5, 4, 4.5, 5$ 进行计算。利用计算结果可以画出对应的几条曲线, 从这几条曲线形状的

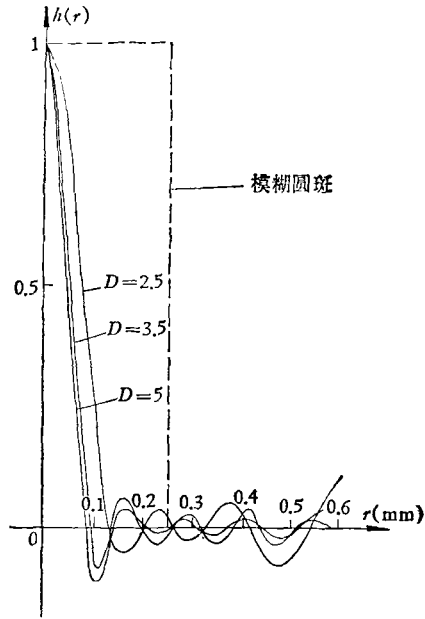


图 14 不同的动态范围对应图象恢复的不同程度

对比, 说明动态范围愈大, h_r 曲线愈窄, 愈接近 δ 函数。而且动态范围 D 增加到 3.5 以上, h_r 形状变窄, 速度减缓, 曲线几乎很难分开。这也说明了动态范围大于 3.5 以上, 图象恢复程度没有本质的差别。本文只给出三条有代表性的曲线, 即可说明这些结果, 见图 14。

然而, 多次实验证明, 动态范围愈大, 滤波片透过率愈低, 则处理后图象的噪音愈大, 从而大大地降低了图象处理的效果。一般地说, 滤波片的最高密度值接近 4 即可, 与计算结果也是符合的。

参 考 文 献

- [1] G. W. Stroke, R. G. Zech, *Phys. Lett.*, **25A** (1967), 89—90.
- [2] G. W. Stroke, *Optik*, **41** (1974), 319.
- [3] Takumi Minemoto *Japan. J. A. P.*, **13** (1974), 975.
- [4] D. A. Tichenor, J. W. Goodman, *Appl. Opt.*, **14** (1975), 1059.