

用于硅表面定域快速退火的激光扫描器*

高文琦 叶权书 黄信凡

(南京大学物理系)

Laser scanner for localized and rapid annealing of silicon surfaces

Gao Wenqi, Ye Quanshu, Huang Xinfan

(Department of Physics, Nanjing University, Nanjing)

提要: 本文介绍一种用计算全息方法制作的激光扫描器, 理论上衍射效率可达40%。扫描矩形面积 $2 \times 3 \text{ mm}^2$, 当 Ar^+ 激光功率为4W时, 对砷离子注入硅的退火是有效的。

关键词: 快速退火, 激光扫描器

一、引言

在半导体器件制造工艺中, 快速热退火技术使离子注入杂质激活且推移减小, 同时消除注入损伤。近年来多数使用的退火装置是石墨条或电弧灯加热器, 它们具有大面积、快速升降温度等优点, 但整个硅片仍是经历了一次高温热处理过程。因此用激光对硅片的离子注入区作定域快速热处理是极有前途的工艺, 但需昂贵的设备——微机及伺服系统。自从全息激光扫描器^[1]提出后可用全息图的一维移动来控制激光束的二维移动, 从而有可能大大简化激光热处理工艺设备。在实用中仍有改善激光束的聚焦及提高扫描功率等问题。本文介绍一种可用于离子注入硅快速退火的激光扫描器的工作原理及实验结果。

二、工作原理

用计算全息方法制作激光扫描器具有很

多优点^[2], 特别是纵扫描方法^[3]可扫描任意曲线。改变全息图的参数可令激光束回扫^[4]。当不需激光束回扫时, 也可令激光束直接跳到所需的位置。我们所用的全息图等 N 线方程为

$$\eta = -C\xi^2 + NG \quad (1)$$

式中, ξ, η 为全息图坐标, C, G 为常数, N 取整数。 N 为定值时所绘曲线即全息图上等 N 线。整个曲线族构成一曲线光栅。光栅间距 ($\Delta N = 1$):

$$\begin{cases} \Delta\eta = \frac{\Delta\eta}{\Delta N} = G \\ \Delta\xi = \frac{\Delta\xi}{\Delta N} = \frac{G}{2C\xi} \end{cases} \quad (2)$$

扫描点坐标 x, y 分别与 $\Delta\xi, \Delta\eta$ 成反比, 如果扫描面为透镜的后焦面时:

$$\begin{cases} x = f\lambda \frac{2C\xi}{G} \\ y = f\lambda \frac{1}{G} \end{cases} \quad (3)$$

收稿日期: 1987年11月19日。

* 本课题是中国科学院基金资助项目。

式中 f 为激光束聚焦透镜的焦距, λ 为所用激光波长。

若沿水平方向匀速移动全息图 (ξ 均匀改变), 激光束即扫描一水平直线, 改变参数 G, C , 另作一全息图, 即可扫描另一水平直线。将众全息图首尾相接, 依次通过激光束, 则在后焦面上即可扫出图 1 所示图形。

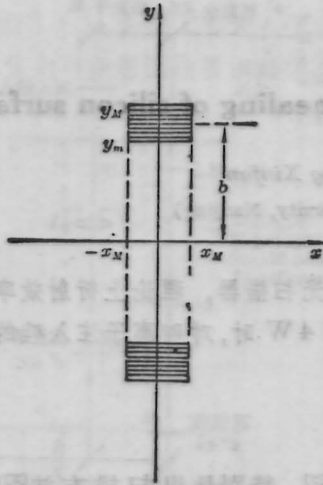


图 1 当全息图沿 x 方向作一维移动时, 在透镜的后焦面上扫出二维图形的示意图

三、实用中所需解决的关键问题

实用中所需解决的关键问题是提高扫描器的聚焦能力和全息图的效率。与扫描其它曲线相比, 水平直线聚焦问题相对地容易解决。注意(2)式中 $\Delta\eta$ 为常数, 因此纵向是严格的等间距光栅。而光栅分辨能力与缝数成比例, 只需让全息图在纵向有足够的等 N 线数(在激光光斑内)即可保证所需要的纵向聚焦。横向由于众全息图首尾相接, 空间受到限制, 难以保证足够的等 N 线数。因为本试验中扫描水平直线, 横向聚焦影响不是太大。

常规的全息图如 Ronchi 光栅, 其透射率可表示为

$$f(x) = \sum_n \text{rect}\left(\frac{x-nT}{qT}\right) \quad (4)$$

因为是 T 的周期函数, 故可表示为傅氏级数

$$f(x) = \sum_m f_m \exp\left[-j2\pi m \frac{x}{T}\right] \quad (5)$$

傅氏系数

$$f_m = q \sin c(\pi q m) \quad (6)$$

1 级强度正比于 $f_1^2 = [q \sin c(\pi q)]^2$, Ronchi

光栅 $q = \frac{1}{2}$, 故

$$f_1^2 = \frac{1}{\pi^2} \approx 10\%$$

零级强度 $f_0^2 = q^2 = 25\%$ 。

入射光的 50% 被全息图的不透明部分吸收。当激光功率较大时, 吸收的能量足以使全息图烧毁。而使用全息图作硅表面离子注入定域快速退火的激光扫描器时, 为达到退火的目的, 需加大激光器的功率, 常规的 Ronchi 光栅全息图显然是不能承受的。

我们使用位相型光栅 $g(x)$ 代替振幅型光栅 $f(x)$ 。

$$g(x) = \begin{cases} e^{j\alpha} & \text{当 } f(x) = 1 \\ e^{j\beta} & \text{当 } f(x) = 0 \end{cases} \quad (7)$$

或

$$g(x) = [e^{j\alpha} - e^{j\beta}] f(x) + e^{j\beta} \quad (8)$$

α, β 为不依赖于 x 的待定常数, $g(x)$ 又可表为傅氏级数

$$g(x) = \sum_m g_m \exp\left[-j2\pi m \frac{x}{T}\right] \quad (9)$$

傅氏系数 g_m 可自 f_m 求得:

$$g_m = [e^{j\alpha} - e^{j\beta}] f_m \quad (10)$$

$$g_0 = [e^{j\alpha} - e^{j\beta}] f_0 + e^{j\beta} = q e^{j\alpha} + (1-q) e^{j\beta} \quad (11)$$

可利用选择参数 α, β 的机会, 使衍射一级的振幅 $|g_1|$ 最大, 由(10)式可见 $|e^{j\alpha} - e^{j\beta}|$ 最大为 2, 即 $\alpha = \beta + \pi$, q 的最佳值为 $\frac{1}{2}$ 。

$$|g_1|^2 = \left[2 \cdot \frac{1}{2} \text{sinc}\left(\pi \cdot \frac{1}{2} \cdot 1\right)\right]^2 = \left(\frac{2}{\pi}\right)^2 \approx 40\% \quad (12)$$

$$|g_0|^2 = 0$$

零级消失, 1 级衍射率较 Ronchi 光栅约提高 4 倍, 这是位相光栅所能得到的最高效率。

实际使用的全息图做成反射型, 使由不同层面反射光的光程差为 $\lambda/2$ 以满足条件。此外反射面蒸金使能承受强激光照射和提高激光的反射率。

四、实验结果

4.1 全息图的制作

扫描范围 $x_M = 1.5 \text{ mm}$, $y_M = 7.0 \text{ mm}$, $y_m = 5.0 \text{ mm}$ (见图 1), 扫 21 根水平直线, 线距 0.1 mm , 可用于扫描退火面积 $2 \text{ mm} \times 3 \text{ mm}$ 。聚焦透镜焦距 196 mm , Ar^+ 激光器工作波长是 514.5 nm 和 488.0 nm , 共画 21 个全息图。精缩制版, 供光刻用。

以 $\phi = 5 \text{ cm}$ 单面抛光的硅片作基底, 厚度约 0.4 mm (图 2(a)), 干氧化, SiO_2 厚度 d 由下式决定:

$$\text{光程差} = 2d \cos \theta = \frac{\lambda}{2} \quad (13)$$

θ 为入射角, 取 $\theta = 45^\circ$, 由此 $d = 176.0 \text{ nm}$ (图 2(b))。在 SiO_2 上光刻出全息图 (图 2(c))。其上溅射厚 180.0 nm 的金 (图

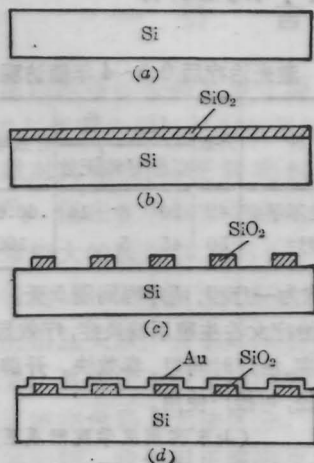


图 2 激光扫描器制作过程

(a) 单面抛光硅片作基底; (b) 干氧化, 厚度为 176.0 nm ; (c) 光刻全息图; (d) 蒸金

2(d))。

使用 He-Ne 激光 (波长 632.8 nm) 测定不同入射角下扫描器表面反射率和衍射效率 (± 1 级), 列于表 1 和表 2。

表 1 扫描器表面反射率与激光入射角的关系

入射角	5°	30°	45°	90°
反射率 (%)	93.5	96.3	97.6	97.8

表 2 扫描器衍射效率与激光入射角的关系

扫描器编号	入 射 角					
	5°	30°	40°	45°	50°	60°
衍 射 效 率						
1	11.8	25.0		32.5		27.8
2		29.6		32.0		20.0
3			25.8	35.2	32.5	

图 3 给出当 He-Ne 激光以 45° 入射到扫描器上扫描器作一维移动时, 在位于透镜焦平面的底片上得到的衍射 1 级图形, 可以看出零级强度近乎为零, ± 1 级给出激光束扫描痕迹 $2 \text{ mm} \times 3 \text{ mm}$ 。连续扫描 21 次, 对扫描器功率忍受试验。在 6 W Ar^+ 激光照射下, 当扫描速度为 1 mm/s 时, 无明显升温。

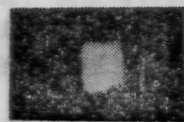


图 3 扫描器作一维移动时得到的衍射 1 级图形 ($\times 2.3$)

由上述实验可知, 所制激光扫描器基本符合设计要求。

4.2 样品制备及快速热退火试验

取 P 型、(111)、 $5 \sim 8 \Omega \cdot \text{cm}$ 单面抛光硅片进行 As 离子注入, 注入剂量为 $1 \times 10^{15} / \text{cm}^2$, 注入能量 80 keV 。经 As 离子注入的硅片进行 Ar^+ 激光快速退火。为比较起见还作了热退火。

把 As 离子注入硅片如图 4 所示置于硅片支撑器上, 支撑器可升温。把硅片衬底温度升至 300°C, 氮气保护。聚焦透镜的焦距 19.6 cm, 焦点处激光束斑直径 $\phi \sim 80 \mu\text{m}$ 。实验时使透镜中心至样品光程为 20.6 cm, 离焦 1 cm。此时束斑直径 $\phi \sim 120 \mu\text{m}$ 。使相邻扫描线交叠, 扫描器沿 x 方向移动速度 1 mm/s, 激光辐照功率 4 W,

$$R_{\square} = 410 \Omega / \square。$$

对 As 离子注入硅片在 N_2 气中作 900°C、30 分钟热退火, 测得 $R_{\square} = 290 \Omega / \square$ 。

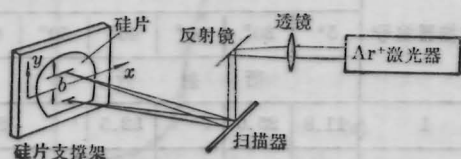


图 4 As 离子注入硅片定域快速退火装置示意图

比较上述实验结果可以看出, 使用激光功率 4 W 辐照时, 样品表面的退火效果比热退火略差些, 方块电阻值还未达到热退火后

样品的方块电阻值。若进一步提高激光辐照功率, 可望得到更好的退火效果。

五、结 论

我们用计算全息方法制作激光扫描器作一维移动时, 可扫描矩形面积 $2\text{mm} \times 3\text{mm}$, 其衍射效率约 32%, 能在以 1 mm/s 扫描的激光束辐照时能承受功率 6 W。用于注入能量 80 keV, 注入剂量 $5 \times 10^{15} \text{cm}^{-2}$ 的砷离子注入硅片的快速热退火取得较好的结果。

参加实验工作的有南京大学李德宽、石明同志和 81 级曹为民、82 级刘毅同学, 特此致谢。

参 考 文 献

- 1 O Bryndohl, W H Lee, *Appl. Opt.* 15 (1), 183 (1976)
- 2 W H Lee, "Ed by E. Wolf; Progress in Optics Vol. 16" (North-Holland Pub. Comp., Amsterdam New York, Oxford, 1978), 228
- 3 高文琦, 叶权书, *光学学报*, 3(3), 237(1983)
- 4 叶权书, 高文琦, *光学学报*, 4(4), 313(1983)

激光在女性生殖系统炎症中的应用

山东滨州医学院附属医院从 1984 年开始对宫颈糜烂和慢性附件炎症进行激光治疗, 取得了显著疗效。结果如表 1 所示。

选用 JG-2 型 YAG 激光治疗仪治疗宫颈糜烂。调节 5 m 长的石英光纤末端输出功率为 30 W ($\approx 70 \text{W}$, 可调), 照射距离为 0.5 cm。光纤垂直烧灼糜烂面, 首先沿糜烂面外缘 2 mm 处烧灼一周, 然后自下而上由内向外作圆形扫描烧灼, 使病变组织迅速碳化 and 气化, 以达摧毁病变组织的目的。术后涂 2% 龙胆紫。激光治疗期间停用其它治疗方法。

采用 HN2SQ-2 型 He-Ne 激光治疗输卵管炎性不孕症, 除照射双侧输卵管体表投影外, 还选择气海、关元和归来三穴位作激光针治疗。均用 25 mW He-Ne 激光, 照射距离为 100 cm, 光斑直径 2 cm, 功率密度为 7.96mW/cm^2 。照射时间为 30 min, 每日

表 1 激光治疗后 0.5~4 年随访观察结果

病 种	例数	疗 效			有效率%	无效率%
		痊愈	好转	无效		
输卵管炎性不孕症	42	20	8	14	66.67	33.33
宫颈糜烂	50	45	5		100	0

1 次, 10 次为一疗程, 两疗程间隔 5 天。

激光治疗女性生殖系统炎症, 疗效显著、无副作用及并发症、治疗时间短、奏效快。开辟了治疗不孕症的新途径, 可推广使用。

(山东滨州医学院附属医院

激光室 梁勋

妇产科 姜秀清 李黎萍

1988 年 7 月 25 日收稿)