

硒砷薄膜中有载流子陷阱在起作用。至于非晶态硒砷薄膜的光电导机理的深入探讨，尚待进一步研究阐明。

参 考 文 献

[1] U. S. P., 3,312,548.
 [2] G. Abowitz, L. B. Leder, *J. Vac. Sci. Technol.*, 15-5 (1978), 1746.
 [3] N. Goto, Y. Isozaki, K. Shidara, T. Fujita, *IEEE Transactions on E. D.*, ED-21-11 (1974),

662.
 [4] G. Pfister, A. R. Melnyk, M. E. Scharfe, *Solid State Commun.*, 21-9 (1977), 907.
 [5] W. J. Hillegas, J. H. Neyhart, *J. Non-Cryst. Solids*, 27(1978), 347.
 [6] J. M. Mackowski, J. J. Samuelli, P. Kumurdjian, *J. Non-Cryst. Solids*, 15(1974), 279.
 [7] J. Schottmiller, M. Tabak, G. Lucovsky, A. Ward, *J. Non-Cryst. Solids*, 4(1970), 80.
 [8] J. Schottmiller, *J. Vac. Sci. Technol.*, 12-4(1975), 807.

不 敏 感 谐 振 腔*

方 洪 烈

(中国科学院上海光学精密机械研究所)

固体激光工作物质的光泵热形变将引起激光谐振腔特性的变化。由于此变化是一个动态过程，它将加宽激光束的积分角分布。实验工作表明^[1]不同的谐振腔受到的影响不同。我们打算从理论上探求一下不受影响的谐振腔——不敏感腔——所应具备的条件。

一、不敏感条件的建立

不敏感腔的模应该不因热形变而变化，即应满足 $du/df = 0$ ，其中 u 是模场分布， f 是工作物质热形变后等效于一个薄透镜时的焦距。由腔的衍射理论不难得出，不敏感腔应具备如下条件：

$$\frac{dK}{df} = 0, \quad (1)$$

其中 K 是腔积分本征方程的积分核。

对于任意多元件腔来说，它的积分核是^[2]

$$\frac{ik \exp(-ikL_0)}{2\pi\sqrt{BB'}} \exp \left\{ -i \frac{k}{2B} (Cx^2 + Ax'^2 - 2xx') - i \frac{k}{2B'} (C'y'^2 + A'y'^2 - 2yy') - ik(S - S') \right\}, \quad (2)$$

其中 A, B, C, φ 等(符号与文献[3]同)是光线在腔内传播一个周期的传播矩阵 $T = \begin{pmatrix} A & B \\ \varphi & C \end{pmatrix}$ 的元素。传播矩阵 T 与变换矩阵 D (见文献[3]) 有如下关系， $T = R^{-1}D$ ，其中 R^{-1} 是参考反射面的反射逆矩阵。对于一个二维情况来说，通常有

$$S = -\frac{x^2}{2r}; \quad S = \frac{x'^2}{2r},$$

其中 r 是镜面的曲率半径。

下面我们指出：矩阵

$$\Gamma = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{pmatrix} \quad T = \begin{pmatrix} A & B \\ -\varphi & -C \end{pmatrix}$$

是自伴矩阵^[4]。由此可得 $A = C$ 。如果令

$$G = C - \frac{B}{r} = A - \frac{B}{r}, \quad (3)$$

可求得

$$G = \frac{1}{2} Sp(D), \quad (4)$$

其中 Sp 表示求迹。于是我们得到不敏感条件是

$$\frac{dB}{df} = 0, \quad \frac{dG}{df} = 0. \quad (5)$$

上式中 $dB/df = 0$ ，只影响有效费涅耳数

* 1979年4月16日收到。

$$N_{eq} = a^2/\lambda B$$

的变化。因此只要考虑 $dG/df = 0$ 已足够精确了。下面分析一些具体问题。

二、不敏感腔的设计

对于一个由两个球面反射镜组成的腔来说，可以写出它的变换矩阵是

$$D = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ -2p & -1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1-a & \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ \varphi & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & -b \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \\ \times \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 2q & -1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & b \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ -\varphi & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & a \\ 0 & 1 \end{pmatrix},$$

其中 p, q 分别是两反射镜面曲率半径 r_1, r_2 的倒数，而 a, b 分别是此两反射镜到工作物质（等效一个薄透镜）的距离。由此不难求得它的迹等于

$$G = \frac{1}{2} Sp(D) \\ = 2ab(1 - ap - bq + abpq)\varphi^2 \\ - 2L \left[1 - ap - bq + 2abpq \right. \\ \left. - \frac{ab}{L}(p + q) \right] \varphi \\ + [1 - 2L(p + q) + 2L^2pq],$$

其中 $L = a + b$ 是腔长。那么它的不敏感条件便是

$$\left. \begin{aligned} 1 - ap - bq + 2abpq - \frac{ab}{L}(p + q) &= 0, \\ 1 - ap - bq + abpq &= 0, \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

即满足(6)式的腔是不敏感的。例如共心腔

$$\left. \begin{aligned} a = b = \frac{L}{2}, \\ r_1 = r_2 = \frac{L}{2}, \text{ 即 } p = q = \frac{2}{L} \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

是不敏感的。但此腔由于光束聚焦在工作物质上而不宜应用。

对于不稳定腔来说，不存在不敏感的不稳定腔。但是它存在一个不敏感点，也就是说，当工作物质具有某个确定的光焦度 φ_0 时，可以使腔的敏感度 dG/df 在此点等于零。不过，此时同样出现光束聚焦在工作物质上的问题。

对于光束不在腔内汇聚的不稳定腔来说，即由凸面反射镜或凹透镜等组成的不稳定腔来说，它们不存在不敏感点。但是它的敏感度却是可以降低的。例如，当工作物质具有光焦度 φ_0 满足

$$ab(1 - ap - bq + abpq)\varphi_0 \\ - L \left[1 - ap - bq + 2abpq \right. \\ \left. - \frac{ab}{L}(p + q) \right] = 0 \quad (8)$$

时，由双凸面反射镜构成的不稳定腔的敏感度比 $\varphi_0 = 0$ 时的敏感度降低了一倍。

三、结果的推广与讨论

对于任意多个元件组成的谐振腔，工作物质矩阵在变换矩阵中都只出现两次，因此 G 永远是 φ 的二次函数。而且多元腔总可以等效于某一个普通的简单腔，因此我们得出普遍的结论如下：

(1) 不敏感腔只能是 $G = 1$ 的腔，没有不稳定的不敏感腔。

(2) 在腔内有实焦点的不稳定腔存在一个不敏感点；无实焦点的不稳定腔不存在不敏感点。

(3) 使工作物质具有某一个恰当的光焦度 φ_0 时，可以使敏感度降低到最小。

固体激光工作物质在光泵以后，经过一段时间，由于物质端面散热比中间快而呈现一个正透镜，从而降低了腔的敏感度。这样便获得了更好的输出方向性。解释了我们实验上发现的往往是激光器的第二次激发时有更好的方向性的现象。

在实际情况下，工作物质形变后往往不能视为薄透镜，而呈现一个厚透镜。这样不仅透镜的光焦度 φ 在变化，而且主平面的位置也在变化，问题要复杂一些。因此在设计不敏感腔时，需要针对具体情况而进行具体计算。

此工作得到了王之江同志的指导和有益的讨论。在此表示感谢！

参 考 文 献

[1] 中国科学院上海光机所 101 组, 激光, 3-3(1976), 29.

[2] 方洪烈, 物理学报, 28(1979), 430.

[3] 方洪烈, 激光, 5-5-6(1978), 145.

[4] 方洪烈, 激光, 6-4(1979), 17.

硅表面 SiO₂ 薄膜中钠的沾污*

谢宗钧 李和炳 阎增新

(中国科学院半导体研究所)

在半导体器件中, 由于硅表面 SiO₂ 薄膜中钠的沾污, 严重地影响着器件的稳定性、可靠性及成品率。对于 MOS 器件, 这一影响就更为突出, 因此深为人们关注。究竟如何有效地除去氧化膜中的 Na⁺, 提高器件的可靠性和电学稳定性, 这已成为国内外研究的重要课题。

已有大量的实验证实, 在 1150°C 下的氧化气氛中掺进 6% 克分子浓度的 HCl 气体, 能大大减少氧化膜中可动的离子数^[1-5]。但机理尚不明确, 影响了它的广泛应用。对此, 我们利用中子活化与离子微探针分析技术, 通过测定 SiO₂ 薄膜中钠的含量及 Na⁺ 与 Cl⁻ 在氧化膜中的纵向分布, 研究了掺 HCl 氧化改善 Na⁺ 影响的机理; 研究了去除硅表面钠沾污的有效化学清洗方法。

一、实 验

样品采用电阻率为 3—5 Ω·cm 的 (100) 晶向的 P 型硅单晶, 它被切成面积为 1.0cm², 厚度为 300—500 μm 的正方形硅片, 用金钢砂粗磨及用铜离子抛光成镜面。

将用不同方法清洗的硅片(经烘干)及用不同方法氧化的硅片分别封入清洁的石英瓶中, 放入原子能反应堆中, 经通量为 (6—8) × 10¹³ 个中子/cm²·sec 热中子照射 10 小时后, 取出冷却 20 小时, 使用 Ge(Li) 探测器及 4096 道 γ 能谱仪测定其钠含量。对氧化膜分层剥离, 剥离厚度用椭圆仪确定。

将氧化的硅片利用离子微探针 (SMI-300)

交替积分法同时测定氧化膜同点的 Na⁺ 与 Cl⁻ 的分布。

二、结果与讨论

在半导体器件制造流程中, 化学清洗是清除硅表面吸附的钠的重要环节。表 (1) 列出了我们用不同的化学清洗方法对吸附在硅片表面的钠的解吸效果。

表 (1)

处理方法		残存于硅表面的钠含量 (个原子/cm ²)
(一) 化学清洗	(1) HCl + HNO ₃ (3:1) 煮沸 3—5' → HF 漂洗 10'' → 热去离子水冲洗	(5—7) × 10 ¹³
	(2) H ₂ O ₂ + HCl + H ₂ O (1:1:6), 在 75°C 下浸泡 15' → 热去离子水冲洗	7 × 10 ¹³
	(3) HCl + HNO ₃ (3:1), 煮沸 3—5' → HF 漂洗 10'' → 2N 的 HCl 溶液煮沸二遍 → 热去离子水冲洗	(2—5) × 10 ¹²
(二) 掺 HCl 氧化		1 × 10 ¹⁰

表 (2)*

总含量	SiO ₂ 层	硅基体
1 × 10 ⁻² μg	1 × 10 ⁻² μg	(2—8) × 10 ⁻⁶ μg

* 其值为多个样品的总和。

表 (1) 是大量实验数据中的典型数据。从表 1 中可以看到, 第 (3) 种清洗方法(即在第一种

* 1979 年 7 月 26 日收到。