

808nm 大功率量子阱激光器 无吸收腔面镀膜的研究

李秉臣 彭 晔 廖显伯

(中国科学院半导体研究所 北京 100083)

摘要 用电子束反应蒸发法制备的 a-Si:H 膜和 Al_2O_3 膜组成的 a-Si:H/ Al_2O_3 膜系, 解决了 a-Si/ Al_2O_3 膜系在 808nm 波长有较强光吸收问题, 吸收系数从 $2 \times 10^3 \text{cm}^{-1}$ 降低到可以忽略的程度. a-Si:H 膜的光学带隙为 1.74eV 左右. 应用到 808nm 大功率量子阱激光器腔面镀膜上, 其器件光电性能获得较大改善.

PACC: 7865; EEACC: 4190F

1 引言

大功率量子阱激光器是包含高载流子密度、高电流密度和高光子密度的一种光电器件, 降低阈值电流密度和提高量子效率是增大激光器输出功率的关键.

腔面镀膜可以起到保护腔面、防止氧化、提高可靠性的作用, 也可以改善激光器光电性能. 譬如, 利用高反射膜可以降低阈值电流 I_{th} 、提高器件的量子效率, 而应用增透膜可以提高量子效率和电-光转换效率, 小范围的波长调整等作用.

808nm 大功率量子阱激光器腔面镀膜, 通常采用以 Si 为高折射率材料, Al_2O_3 为低折射率的材料组合的 Si/ Al_2O_3 ^[1]膜系. 在实验中, 我们发现 Si/ Al_2O_3 膜系作为高反膜, 在 808nm 波长附近 Si 膜仍有较强吸收, 腔面镀高反膜(HR)后, 激光器光电性能变坏, 而不象文献[1]中所说的那样, Si 膜厚度在 60nm 时总吸收可以忽略. 因此为了解决这个问题, 开展了 H_2 气氛电子束反应蒸发 Si 膜的实验研究工作.

2 实验及原理

本项研究工作使用 BALZERS 公司生产的 BAK600 箱式光学镀膜系统 CRYO PUMP 抽真空, 既保持了真空室的清洁度, 又有较快地使真空度达到 $1 \times 10^{-7} \sim 2 \times 10^{-7}$ mbar 的水

李秉臣 男, 1941 年出生, 高级工程师, 从事半导体光电子器件工艺及其薄膜技术研究
彭 晔 女, 1970 年出生, 助理工程师, 从事半导体光电子器件工艺及其薄膜技术研究
廖显伯 男, 1940 年出生, 研究员, 从事非晶硅亚稳特性及非晶硅太阳能电池研究
1998-04-10 收到, 1998-09-03 定稿

平。采用硼硅酸盐玻璃(CGW 7740)作衬底, 经用 $H_2SO_4 : H_2O = 5 : 1$ 溶液煮沸后, 去离子水冲洗, 再用 $HCl : H_2O = 5 : 1$ 煮沸, 去离子水冲洗, 最后用干 N_2 气吹干备用。样品制备之一是 Si 膜的电子束蒸发, 在加热到 250 °C, 真空度 $< 1 \times 10^{-6}$ mbar 的条件下, 电子束蒸发 Si, 蒸发速率为 0.3nm/s, a-Si 膜的厚度为 500~ 600nm, 折射率 $n = 3 \sim 3.2$ (633nm) 之间。样品制备之二是加热并恒温在 250 °C 时, 预真空度 $< 1 \times 10^{-6}$ mbar, 加入 H_2 气降为 4×10^{-4} mbar, 然后电子束反应蒸发 Si, 形成 a-Si:H 膜, 蒸发速率为 0.3nm/s, 膜厚同样为 500~ 600nm 左右(图 1)。

用 CARY-5E 型分光光度计分别测量 a-Si 膜和 a-Si:H 膜的透射谱线, 根据薄膜光学公式

$$T = A \frac{(1 - R_{23})(1 - R_{21})e^{-\alpha d}}{1 + R_{23}R_{21}e^{-2\alpha d} - 2R_{23}^{1/2}R_{21}^{1/2}e^{-\alpha d} \cos(4\pi n_2 d / \lambda)} \quad (1)$$

式中 T 为透射率; A 为考虑衬底影响的因素的系数; R_{ij} 为组成界面 ij 的正入射反射率,

$$R_{ij} = \frac{(n_i - n_j)^2}{(n_i + n_j)^2} \quad (2)$$

d , n_2 和 α 分别表示 a-Si 或 a-Si:H 膜的厚度、折射率和吸收系数

从(1)式可以看出, 在一定的条件下会发生干涉现象。当 $2n_2d = m\lambda$ 时, 透射率最大(T_{max}), 当 $2n_2d = (m + 1/2)\lambda$ 时, 透射率最小(T_{min})。如果干涉发生在透明区, 即 $\alpha d \rightarrow 0$, 此时有

$$T_{max} - T_{min} = \frac{4\sqrt{R_{21}R_{23}(1 - R_{21})(1 - R_{23})}}{(1 - R_{21}R_{23})^2} \quad (3)$$

从(3)和(2)式可以求出 n_2 , 再根据干涉条件求出膜厚 d , 将这些数值代入(1)式中, 求解出 α , 便可得知薄膜的吸收系数。再根据间接带隙材料在带边附近 α 与 $h\nu$ 的关系式, 即 Tauc 公式

$$(\alpha h\nu)^{1/2} = B(h\nu - E_0) \quad (4)$$

将 $(\alpha h\nu)^{1/2}$ 对 $h\nu$ 作 Tauc 图, 则所得直线段与横轴的截距就是 a-Si 或 a-Si:H 的光学带隙 E_0 。



图 1 透射谱测量示意图

3 实验结果和讨论

3.1 a-Si和 a-Si:H 的吸收系数与波长之间的关系

我们分别测量了 a-Si 和 a-Si:H 这两种膜的透射能谱曲线, 然后用计算机程序块作出 a-Si 和 a-Si:H 两种薄膜的吸收系数与波长之间的关系图, 如图 2 所示。从图 2 我们注意到 a-Si 膜在 808nm 波长附近, 吸收系数为 $2 \times 10^3 \sim 3 \times 10^3$ /cm。而 a-Si:H 膜与 a-Si 膜相比较有较明显的蓝移, 在 808nm 波长附近, 吸收系数降低到可以忽略的程度, 成为真正的无吸收高折射率材料, 并与薄膜的厚度无关。

3.2 a-Si和 a-Si:H 的 Tauc 关系

从 Tauc 图 3 我们可以看到, a-Si 膜光学带隙为 1.675eV 左右, a-Si:H 膜光学带隙为 1.74eV 左右。从上面的结果我们可以解释吸收曲线蓝移(向短波长方向移动)的原因是由于 Si—H 键比 Si—Si 键键合更强, 而且 a-Si:H 膜的光学带隙也比 a-Si 膜光学带隙宽。而这一

结果正是我们所希望的 另外从图 3 中我们可以看到 a-Si 膜能谱曲线上有一个小丘, 说明薄膜有缺陷 而 a-Si:H 膜能谱曲线比较平滑, 说明加入 H₂ 后反应蒸发形成的 a-Si:H 膜缺陷减少, 薄膜质量变好

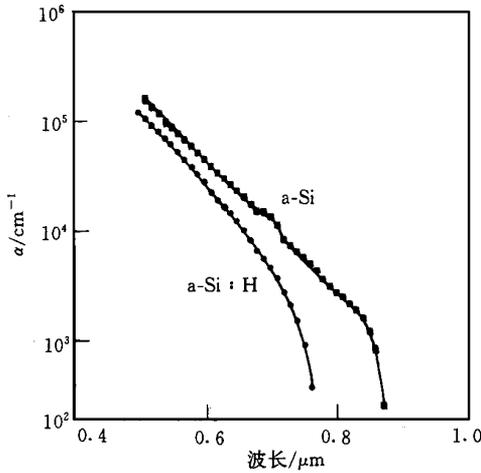


图 2 a-Si和 a-Si:H 吸收系数 α 与波长的关系

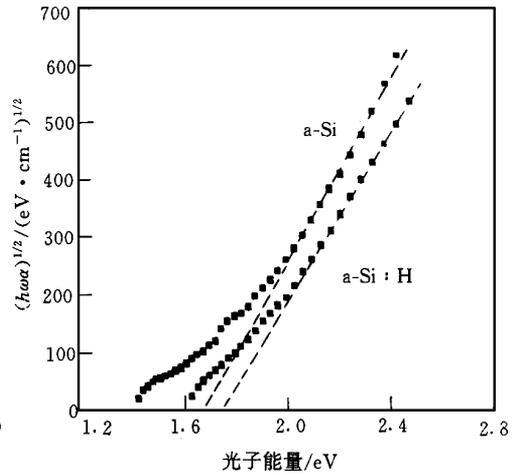


图 3 a-Si和 a-Si:H 的 Tauc 关系曲线

3.3 a-Si/AlO₃ 膜系与 a-Si:H/AlO₃ 膜系分别应用到 808nm 激光器腔面镀膜的比较

为了进行 a-Si/AlO₃ 膜系与 a-Si:H/AlO₃ 膜系的比较, 将这两种膜系分别应用到 808nm 大功率量子阱激光器腔面镀膜上, 并作了两个腔面未镀膜; 一个腔面只镀高反膜 (HR), 另一个腔面不镀膜; 以及两个腔面各镀高反膜和增透膜 (HR + AR) 三种情况 用常规的 $\lambda/4$ 极值法监控 a-Si/AlO₃ 与 a-Si:H/AlO₃ 膜系的光学厚度, 高反膜采用 4(LH) 八层, 经分光光度计测量, 透射率一般为 2% ~ 3%, 其三种情况结果如表 1 和表 2 所示:

表 1 a-Si/AlO₃ 膜系应用到 808nm 激光器腔面镀膜前后性能测试结果典型值

	未镀膜	HR	HR + AR
输出功率 P_0/W	0.21	0.1	0.11
阈值电流 I_{th}/A	0.14	0.2	0.16
工作电流 I_t/A	0.52	0.50	0.44
工作电压 V_t/V	1.91	1.92	1.88
量子效率 $E_s/(W \cdot A^{-1})$	0.52	0.29	0.31
电光转换效率 $E_p/\%$	21.1	10.5	12.7
串联电阻 R_d/Ω	0.52	0.49	0.53
波长 λ/nm	813.7	805.4	806.7

表 2 a-Si:H/AlO₃ 膜系应用到 808nm 激光器腔面镀膜前后性能测试结果典型值

	未镀膜	HR	HR + AR
输出功率 P_0/W	0.52	0.51	1.01
阈值电流 I_{th}/A	0.24	0.17	0.26
工作电流 I_t/A	1.16	0.84	1.20
工作电压 V_t/V	2.14	1.98	2.11
量子效率 $E_s/(W \cdot A^{-1})$	0.55	0.74	1.00
电光转换效率 $E_p/\%$	20.9	30.6	40.00
串联电阻 R_d/Ω	0.41	0.41	0.38
波长 λ/nm	810.4	810	809.4

从表 1 a-Si/AlO₃ 膜系和表 2 a-Si:H/AlO₃ 膜系应用到 808nm 大功率激光器腔面镀膜后的测试结果来看, a-Si/AlO₃ 膜系有明显吸收, 导致 I_{th} 增加, E_s 降低, E_p 降低 而 a-Si:H/AlO₃ 膜系, 当只有一个腔面镀高反膜时, 其结果是 I_{th} 降低, E_s 增加, E_p 增加 当两个腔面分别镀高反膜和增透膜时, E_s 增加, E_p 增加, I_{th} 略有增加, 而 E_s 从 0.55 (W · A⁻¹) 增加到 1.00 (W · A⁻¹), E_p 从 20.9% 增加到 40.00%, 其绝对值增加近一倍左右

参 考 文 献

- [1] Michael Ettenberg, Appl Phys Lett , 1978, **32**(11): 724~ 725.
[2] Hiroki Naito, Masahiro kume, Ken Hamada *et al* , IEEE J. Quantum Electron , 1991, **27**(6): 1550~ 1553.
[3] J. Stone and L. W. Stulz, Appl Opt , 1990, **29**(4): 583~ 588.

New Dielectric Facet Reflector for High Power 808nm Quantum Well Laser

Li Bingchen, Peng Ye, Liao Xianbo

(Institute of Semiconductors, The Chinese Academy of Sciences, Beijing 100083)

Received 10 April 1998, revised manuscript received 3 September 1998

Abstract Hydrogenated amorphous silicon (a-Si:H) with an optical bandgap of 1.74eV, deposited by electron beam reactive evaporation in H₂ atmosphere has been used in combination with Al₂O₃ film as the facet reflector for high power 808nm quantum well laser. In comparison with usual film stack of a-Si and Al₂O₃ shown strong optical absorption at wavelength of 808nm, the optical absorption coefficient of the new film system has been significantly lowered from $2 \times 10^3/\text{cm}$ to a negligible level. The optoelectronic properties of the device have been highly improved as the film system is applied to the facet.

PACC: 7865; **EEACC:** 4190F