

a-Si_{1-x}C_x:H/pn-in 结构的蓝白色电致发光

张仿清 张亚非 陈光华

(兰州大学物理系)

1986年4月4日收到

本文介绍了一种新的 p⁺μc-Si:H/pn-in a-Si_{1-x}C_x:H/n⁺μc-Si:H 多层结构电注入发光器件。首次在室温下用肉眼直接观察到了蓝白色的电注入发光(EL)。EL光谱的分布和峰值位置可以通过改变 a-Si_{1-x}C_x:H 层的碳原子含量来调整。EL总强度与正向注入电流之间遵从幂函数规律: $I \propto I^p$; 电流电压特性具有空间电荷限制电流关系: $I \propto V^p$ 。在室温下测得: $p \sim 1.5$, $p > 2$ 。当正向注入电流等于 50mA 时, 器件的发光亮度接近 1fL。

自 1976 年 J. I. Pankove 和 D. E. Carlson^[1] 观察到 a-Si:H pin 和肖特基势垒二极管在液氮温度下的红外电致发光(EL)和光致发光(PL)现象以来, 相继报道了 a-Si:H 和 a-Si:F:H pin 及肖特基势垒二极管低温下的红外发光^[2,3,4]。直到 1982 年室温下的可见电致发光才被 H. Munekata 等^[5]观察到, 其样品结构为 ITO/Y₂O₃/a-Si_{1-x}C_x:H/Y₂O₃/Al。1985 年 D.Kruangam^[6] 等对 a-Si:C:H pin 二极管在室温下观察到红色、桔黄色、白绿色的电注入发光。最近, 我们采用了 p⁺μc-Si:H/pn-in a-Si_{1-x}C_x:H/n⁺μc-Si:H 多层结构在室温下用肉眼看到了蓝白色的电注入发光。EL光谱的分布和峰值位置可以通过改变 n-i 层的 a-Si_{1-x}C_x:H 膜的碳含量来调整。可以预料, 若进一步提高发光效率, a-Si:C:H 膜将在发光与大面积显示方面有重要应用价值、同时对非晶发光机理和复合理论的研究也会有重要意义。

一、样品制备

样品采用了 Al/p⁺μc-Si:H/p a-Si:C:H/n⁻a-Si_{1-x}C_x:H/ia-Si_{1-x}C_x:H/n a-Si:C:H/n⁺μc-Si:H/ITO 多层结构。其二端的 p⁺ 和 n⁺μc-Si:H 膜具有高电导率、宽的光学带隙^[7] ($\sigma \sim 10\Omega^{-1}\text{cm}^{-1}$, $E_{\text{opt}} \sim 1.95\text{eV}$), 膜厚为 120 Å, 它用来改善器件的电接触特性, 以提高注入效率。pn-in a-Si_{1-x}C_x:H 各层均用外耦合电容式射频辉光放电法制备的。淀积温度为 230°C, 淀积功率为 60~80W, 反应气体为高纯甲烷 (CH₄) 和用氢气稀释的 SiH₄、B₂H₆、pH₃, 其浓度分别为 10%、0.2%、0.2%。通常用改变通入反应室内 CH₄ 气体相对总气体的流量比 r ($r = \frac{F_{\text{CH}_4}}{F_{\text{SiH}_4} + F_{\text{CH}_4}}$) 来改变各层的碳含量。P 层和 n 层的厚度均为 250 Å, $r = 0.7$, 掺硼和掺磷的气相浓度均为 0.5% (即 B₂H₆ 和 pH₃, 流量相对总气体流量的份数为 0.5%), 其光学带隙可控制在 2.5eV。n⁻ 层和 i 层的厚度分别为 200 Å、2000 Å, n⁻ 层的掺杂气相浓度为 0.2%, p⁻ 层和 i 层具有相同的碳含量, 其 CH₄ 气

体流量相对 SiH_4 和 CH_4 气体流量比 γ 分别控制在 0.8、0.75、0.7， E_{opt} 分别为 2.9eV、2.75eV、2.6eV，得到三种典型的样品。最后蒸发 Al 电极，电极面积约为 4.9mm^2 。

二、结果和讨论

当对 $p^+pn^-nn^+$ 多层结构的器件加正向电压时，其注入电流大于 10mA 时即可在室温下用肉眼直接观察到蓝白色的电注入发光。发光光谱画在图 1 中，三条光谱曲线代表三个不同碳含量的样品，制备 n^-i 层时 γ 分别为 0.8、0.75、0.7，测试条件均在 10mA，三种样品的发光峰值分别位于 1.94、1.80、1.68eV，谱峰的半高宽分别是 0.73、0.57、0.50eV。 $\gamma = 0.7$ 的样品谱峰的最大值定为 1，其它两种样品光谱强度分别乘以 1.8 和 1.9 使其最大值达到 1。从图看出，随着有源区 n^-i 层碳含量增加光谱峰值位置向高能方向移动，并且光谱分布覆盖了大部分可见光区，所以用肉眼观察时可以看到浓郁的白色光，当 $\gamma = 0.8$ 时，看到了蓝白色的成分，但发光强度随碳含量的增加而下降。

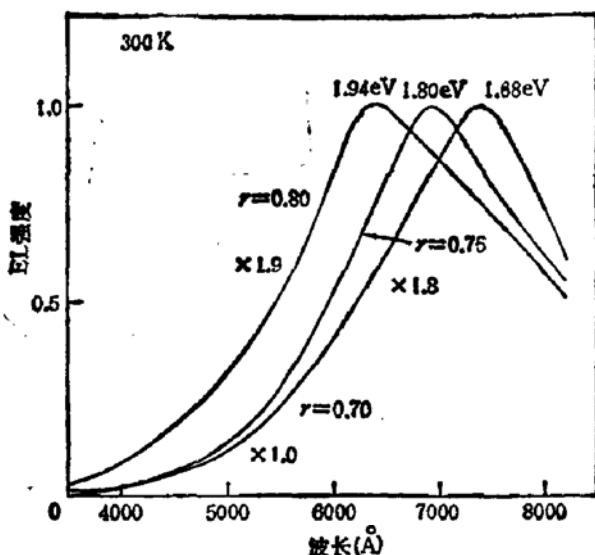
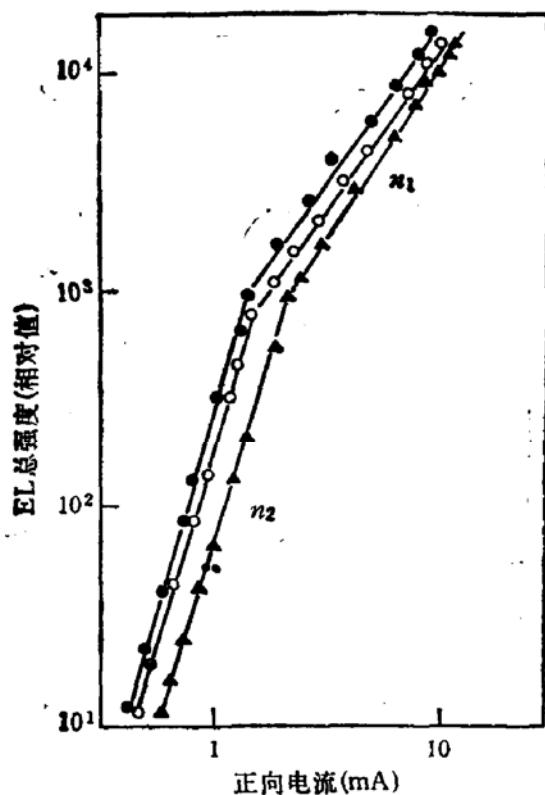


图 1 $a\text{-Si}_{1-x}\text{C}_x:\text{H}$ 多层结构的电注入发光光谱

总发光强度 L 与正向注入电流 I 之间存在着幂函数关系： $L \propto I^n$ ，如图 2 所示。由于非晶态材料中有较多的缺陷态，其幂次关系中的幂将决定于缺陷态的位置与类型，特别是在小注入情况下，除了注入电流和复合电流之外还有隧道电流和漏电流存在，所以 L 与 I 的关系特性极为复杂很难严格的区分跃迁机制的类型^[8]。但从图上看出，当正向注入电流小于 2mA 时， $n = n_2 \approx 3.34 \sim 3.56$ ，发光强度也很低，这可能由于缺陷态引起的非辐射复合起主要作用^[9]。当注入电流大于 2mA 时， $n = n_1 = 1.63 \sim 1.4$ ，这时缺陷态已经填满，注入和复合趋于稳定，注入到 i 层的电子空穴对的辐射复合已占主要地位，发光趋于稳定，这时用肉眼才能看到可见光。由于非晶材料缺陷态较多，所以复合过程也是极为复杂的。

目前这种器件的发光亮度还是比较低的。用测已知发光管 (ELD) 亮度比较法，估算该器件在室温下 50mA 正向注入电流时，亮度接近 1fL (呎·朗伯)。

图2 L 与 I 之间的关系, 300K

$\Delta \Delta \quad n_1 = 1.63 \quad n_2 = 3.34 \quad \bullet \circ \quad n_1 = 1.45 \quad n_2 = 3.45 \quad \bullet \bullet \quad n_1 = 1.40 \quad n_2 = 3.56$

当对样品加反向电压时,也在室温下观察到微弱发光现象,这说明此种结构的电致发光不仅有电注入式发光机理,也存在着微弱的碰撞电离发光机制。而 T. S. Nashashibi^[4]等人在 $a\text{-Si}_2\text{H}$ pin 和肖特基势垒二极管中没有观察到反偏压下的电致发光现象,这可能由于不同材料产生不同的微观复合过程所致。

如何提高器件的发光效率和发光亮度以及复合机理等问题,还正在研究中。

参 考 文 献

- [1] J. I. Pankove and D. E. Carlson, *Appl. Phys. Lett.*, **29**, 620 (1976).
- [2] R. A. Street, C. Tsang, J. Knights, Proc. 14th Int. conf. Phys. Semiconductors, P. 139 (1978).
- [3] M. Konagai, K. Nishihata, K. Komori and K. Takahashi, Proc. IEEE 15th Photovoltaic Specialists conference, Florida, P. 906 (1981).
- [4] T. S. Nashashibi, I. G. Austin, T. M. Searle, R. A. Gibson, W. E. Spear and P. G. LeComber, *Phil. Mag.*, **45**, 553 (1982).
- [5] H. Munekata and H. Kukimoto, *Appl. Phys. Lett.*, **42**, 432 (1983).
- [6] D. Krangam, T. Endo, Wei Guangpu, S. Nomomura, H. Okamoto and Y. Hamakawa, *J. Non-Cryst. Solids*, **77 & 78**, 1429 (1985).
- [7] Chen Guanghua, Zhang Yafei, Zhang Fangqing and Yu guangmin, 2nd International PVSEC-II, Aug. 1986, Beijing, China.
- [8] 青木昌治著, 黄振岗译, “发光二极管”, 人民邮电出版社, p. 67 (1981).
- [9] Henry Kressel, J. K. Butler, 黄志坚译, “半导体激光器和异质结发光二极管”, 国防工业出版社, p73 (1983).

Blue-White Electroluminescence in a-Si_{1-x}C_x:H/pn⁻in Structure

Zhang Fangqing, Zhang Yafei and Chen Guanghua

(Departments of Physics, Lanzhou University)

Abstract

Blue-white electroluminescence (EL) in p⁺μc-Si:H/pn⁻in a-Si_{1-x}C_x:H/n⁺μc-Si:H structure has been first observed directly with the naked eye at room temperature. The distribution and the peak position of the EL spectra can be adjusted by controlling the carbon content in the active n⁻i a-Si_{1-x}C_x:H layer. The relation between the total emitting intensity (L) and the injection current (I) can be expressed as $L \propto I^n$, and the applied voltage dependence of I as $I \propto V^m$, where the exponent m , $n=1.4\sim3.6$ at room temperature. At $I=50$ mA, the brightness of the device is about 1FL.