

纳米硅薄膜的电致发光和光致发光*

余明斌^{3,1} 李雪梅^{4,1} 何宇亮¹ 徐士杰²
刘剑² 罗晋生³ 魏希文⁴ 郑厚植² 戎霭伦¹

(1 北京航空航天大学非晶态物理研究室 北京 100083)

(2 中国科学院半导体研究所 半导体超晶格国家重点实验室 北京 100083)

(3 西安交通大学电子工程系 西安 710049)

(4 大连理工大学物理系 大连 116024)

摘要 对用 PECVD 方法控制生长条件制备的纳米硅薄膜材料的发光性质进行了初步研究. 在膜的纵向加直流偏压, 暗场环境下可清楚地看到材料的电致发光现象. 在同一套测量系统中分别测量了纳米硅材料的电致发光光谱和光致发光光谱, 并用 Lambda 9 紫外/可见/近红外分光光度计测量了样品的透射谱, 从而得到样品的 T_{auc} 曲线和光能隙 E_g^{opt} .

PACC: 7860F, 7855, 7360F

1 引言

九十年代初, 多孔硅的光致可见光发射被 Canham 首次报道后^[1], 许多研究人员作了大量更加深入细致的工作. 而关于其发光机理的讨论, 更是百花齐放. 占优势的有 Canham^[2] 的量子限制模型, Z. Y. Xu^[3] 的表面吸附分子发光机制及 Brandt^[4] 等人的硅氧烯发光机制等等. 多孔硅材料制备简单、方便、成本低, 而且发光强度高, 可望在光电子领域开辟广泛的应用前景, 从而引起了国际半导体界的关注. 但多孔硅的制备为湿法工艺, 使传统成熟的硅平面工艺优势得不到发挥. 1993年 Vepred^[5] 等报道了对低温下生长的非晶硅在高温下 (1000℃以上) 氧化, 再进行后退火处理, 使非晶硅薄膜中形成小颗粒晶粒, 在室温下看到了光致发光现象. Xinwei Zhao^[6] 等用晶化非晶硅薄膜的方法也观察到了光致发光现象, 发光峰在 4150 Å 和 4370 Å 处, 并认为这是由于薄膜中小尺寸晶粒的量子限制效应所致. 本文使用 PECVD 方法控制生长条件得到的纳米硅薄膜是由纳米尺寸超细微晶粒构成的一种新型材料^[7], 它是由许多取向随机的小晶粒构成, 每个小晶粒的尺寸为几个纳米, 其晶粒间界大约占 50% 体积比. 本工作对纳米硅薄膜的光致发光和电致发光进行了初步探索. 在室温暗场环

* 国家基金资助项目和中科院半导体超晶格与微结构国家重点实验室申请课题

余明斌 男, 1959年生, 副教授, 目前在西安理工大学, 从事半导体材料及器件研究

李雪梅 女, 1969年生, 硕士, 现从事半导体材料研究工作

1994年7月7日收到初稿, 1994年11月15日收到修改稿

境下,首次清楚地看到了纳米硅薄膜的电致发光,并且测出了光致发光和电致发光光谱.这种材料没有进行任何后处理,制备工艺简单,发光稳定,如果进一步提高发光强度,纳米硅薄膜材料在光电显示方面将有很广泛的应用前景.

2 实验方法

实验样品是在超高真空等离子体增强化学汽相沉积系统中用高氢稀释硅烷作为反应气体,在 RF+DC 双重功率源作用下制得的.沉积压力 $3.75 \times 10^{-3} - 1.13 \times 10^{-2}$ Pa,功率为 20—80W,衬底温度为 50—300℃,直流以偏压为 -100—250V.为测试方便,纳米硅薄膜生长在镀有 ITO 薄膜的玻璃衬底上,在沉积过程中未掺入任何杂质.电致发光样品是在纳米硅薄膜上蒸镀铝作为背电极,另一电极为 ITO 膜.这样由透明的 ITO 电极和不透明的铝电极与夹在它们之间的纳米硅薄膜构成电致发光结构.实验样品的有效面积可作到 $10 \times 10 \text{ cm}^2$,玻璃衬底上的 ITO 薄膜和纳米硅薄膜皆保持完整与衬底同样面积,只有背电极在蒸镀时借助掩模版形成直径为 6mm 中心距一定的园形阵列.在生长纳米硅薄膜时将衬底局部区域用盖玻片掩蔽,使 ITO 膜暴露,以此作为实验样品共用 ITO 电极.阵列中的每一园点与其下方的纳米硅薄膜和共用的 ITO 电极构成一个独立器件单元.电压纵向施加于纳米硅薄膜上,直流电源正端接铝电极,负端接 ITO 膜.观测电致发光现象时用导电橡胶压在 ITO 透明导电膜上,而后再用测试架上的电极压紧导电橡胶.在两电极之间加直流偏压就可以看到纳米硅薄膜的电致发光现象.暗场环境中可以从玻璃衬底一侧看到清晰的园形均匀发光.用胶片紧贴贴在玻璃衬底上曝光一段时间后得到电致发光照片.光致发光测量系统的激发光源是氩离子激光器的 4880 Å 发射线.电致发光光谱与光致发光光谱测量在同一套测试系统中进行,测量均在室温条件下.

3 结果与讨论

对一组样品的测试表明,在一定范围内控制生长条件得到的纳米硅样品都具有稳定的电致发光现象.电压加至 6V 就可在暗场环境中清楚地看见发光.长时间加电压(五、六个小时)发光几乎没有变化,样品放置二个月后再测试,发光仍然没有明显变化.图1(见图版 I)为 407 号样品在 9V 电压作用下的电致发光放大照片.图中亮区为样品中铝电极阵列之一加偏压后的发光.从图中可见纳米硅薄膜有均匀的可见电致发光.图2(见图版 I)为 407、503、528-2 号样品的电致发光光谱.这三个样品的发光峰都在 6500 Å 附近,半高宽约为 300—400 Å,三个光谱极为相似,这三个样品的主要生长条件相差不大,可见发光特性重复较好.

图3(见图版 I)是 407 号样品的光致发光光谱.谱线 A 的激发光功率较谱线 B 的激发光功率小,可见光致发光随激发光功率升高而增强.光致发光峰位于 7000 Å 附近,半高宽为 800 Å 左右.光致发光峰比电致发光峰峰位高 500 Å 左右,半高宽为 400—500 Å.对其它发光样品的测量也有相同的规律.是什么原因引起纳米硅薄膜的电致发光峰位比光致发光峰位向短波方向移动,并且电致发光半高宽比光致发光半高宽窄?电致发光和光致发光机理是什么?它们的差别如何?发光是否来自于纳米晶粒?这些问题需要进一步深入细致地实验研究,这项工作正在进行中.本文仅给出初步的实验结果.

对电致发光样品进行了 $I-V$ 特性测量. 图4(见图版 I)为503号样品的 $I-V$ 特性曲线, 其它样品也有相似的特征. 结果表明: 当实验样品铝电极加正偏压时, $I-V$ 曲线呈现 p-n 结的正向特性, 正向转折电压为3V 左右. 铝电极加负偏压时 $I-V$ 曲线呈现 p-n 结反向软击穿特性. 而我们所观测的电致发光现象正是铝电极加正偏压. 由此看来, 电致发光极有可能是结注入型发光机制.

用 Lamda 9紫外/可见/近红外分光光度计在4000—25000 Å 波段内测量了样品的透射谱, 由透射谱计算得到407、502、528-2号样品的 Tauc 曲线, 从曲线线性段延长线在 x 轴上截距可以得到样品的光能隙 E_g^{opt} , 三个样品的光能隙分别为1.94eV、1.92eV 和1.87eV. 这个光能隙范围对应的光波长恰巧为电致发光的峰值位置, 这对发光机理的讨论有一定的启发.

4 结论

用 PECVD 方法控制生长条件可直接生长出具有稳定的电致可见发光和光致可见发光特性的超细微晶粒的纳米硅薄膜. 用这种方法得到的发光薄膜比使用高温退火晶化非晶硅薄膜和多孔硅工艺简单, 尤其与微电子工艺具有兼容性, 从而使之更具有实用价值. 纳米硅薄膜的发光机理和进一步提高发光强度的研究工作正在进行之中.

参 考 文 献

- [1] L. T. Canham, Appl. Phys. Lett., 1990, **57**:1046.
- [2] L. T. Canham, M. R. Houlton, W. Y. Leong *et al.*, J. Appl. Phys., 1992 **70**:422.
- [3] Z. Y. Xu, M. Gal and M. Gross, Appl. Phys. Lett., 1992, **60**:1375.
- [4] M. S. Brandt, H. D. Fuchs, M. Stutzmann *et al.*, Solid State Commun., 1992, **81**:307.
- [5] M. Ruckschloss, B. Landkammer, and S. Veprek, Appl. Phys. Lett., 1993, **64**:1474.
- [6] Xinwei Zhao, Olaf Schoenfeld, Junichi kusano *et al.*, Jpn. J. Appl. Phys., 1994, **33**(part 2, No5A):L649.
- [7] Yuliang He, Cheng Zhong Yin *et al.*, J. Appl. Phys., 1994, **75**(2):797.

Electroluminescence and Photoluminescence of nc-Si:H Films

Yu Mingbin^{3,1}, Li Zuenwei^{4,1}, He Yuliang¹, Xu Shijie²

Liu Jian², Luo Jinsheng³, Wei Xiwen⁴, Zheng Houzhi² and Rong Ailun¹

(1 *Laboratory of Amorphous Physics, Beijing Aeronautic and astronautic University, Beijing 10083*)

(2 *National Laboratory for Superlattices and Microstructures, Institute of Semiconductors, The Chinese Academy of Sciences, Beijing 100083*)

(3 *Department of Electronic Engineering, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049*)

(4 *Department of physics, Dalian University of Technology, Dalian 116024*)

(Received 7 June 1994, revised manuscript received 15 November 1994)

Abstract: The luminescence properties of nc-Si:H films grown by PECVD method through controlling deposition conditions have been preliminarily studied. DC voltage was longitudinally applied on the films, and the electronluminescence of the materials can be clearly found in dark surroundings. The spectra of EL and PL of nc-Si:H films were measured in the same instrument. Using Lambda 9 UV/VIS/NIR spectrophotometer, we have measured the transmission spectra of nc-Si:H films, and obtained the Tauc curves and the optical gap E_g^{opt} .

PACC: 7860F, 7855, 7360F