

掺氧氮化硅发光二极管的发光特性研究

黄锐¹, 王旦清², 王祥¹, 陈坤基²

(1. 韩山师范学院物理与电子工程系, 广东 潮州 521041; 2. 南京大学物理学院, 江苏 南京 210093)

摘要:采用等离子体增强化学气相沉积方法低温制备非晶氮化硅薄膜,在低温下以氧气为气源,等离子体氧化非晶氮化硅薄膜,以这层薄作为有源层制备电致发光器件。实验结果表明以此方法制备的器件在正向偏置电压下可观测到强烈的黄绿光,发光峰位于 540 nm,而且电致发光开启电压低,仅为 6 V,功耗小。光致发光谱和电致发光谱测量表明发光来自同一种发光中心,即与 Si-O 相关的发光中心。

关键词:氮化硅;电致发光;光致发光

中图分类号:TN24 **文献标识码:**A

Light emission from a-SiN_x:O light-emitting diodes

HUANG Rui¹, WANG Dan-qing², WANG Xiang¹, CHEN Kun-ji²

(1. Department of Physics and Electrical Engineering, Chaozhou 521041, China;

2. Department of Physics, Nanjing University, Nanjing 210093, China)

Abstract: High efficiency luminescent amorphous silicon nitride films grown at room temperature with subsequent plasma oxidation were used as the active layers in the electroluminescent devices. A strong uniform green-yellow light emission from the devices was realized under forward biased conditions. It was found that the turn-on voltage could be reduced to as low as 6 V under the same forward voltage. The EL peak position is located at 540 nm, which is more close to that of the corresponding photoluminescence peak. The origin of light emission is suggested to be the same kind of luminescent centers related to the Si-O bonds.

Key words: SiN_x; electroluminescence; photoluminescence

1 引言

半导体硅材料在微电子集成领域有着不可替代的地位,现代微电子工艺的飞速发展都是以硅材料为基础。若能实现硅基的单片光电集成,用光波代替电子作为信息载体,则可极大地提高信息的传输速度和处理能力。因此研究高效发光的硅基发光材料、发展硅基发光器件、实现全硅光电子集成具有重要的意义。在硅基发光材料的研究当中,低维的硅基材料由于具有神奇的物理特性而备受关注。目前硅基发光材料的研究已取得很大的进展,其中,令人鼓舞的突破性进展是 2000 年在镶嵌纳米硅晶粒的二氧化硅系统中光增益的实现^[1]。这归咎于材料能带中四能级系统的形成。尽管镶嵌纳米硅晶粒的二氧化硅系统的光致发光在实验和理论上已取得巨

大的进步,但是其电致发光的进展却相当缓慢,目前存在的主要问题是发光效率低、稳定性差。这主要源于二氧化硅高的势垒(8.5 eV),不利于载流子的注入。

近年来,硅基氮化物由于高效率的光致发光、可调制的发射光波长和较低的势垒而备受广泛关注。2001 年, Park 等在镶嵌硅量子点的氮化硅系统中,通过改变量子点大小调控材料的发光波长^[2]。随后, Dal Negro 研究小组和 Ma 研究小组在氮化硅材

基金项目:广东省自然科学基金项目(No. 8152104101000004)资助。

作者简介:黄锐(1978-),男,博士,教授,从事硅基光电材料与器件研究。E-mail: rhuang@hstc.edu.cn

收稿日期:2010-04-19

料系统中分别在近红外区和蓝光区获得7%和3%的光致发光外量子效率^[3-4]。伴随着硅基氮化物高效率光致发光的获得,以硅基氮化物为有源层的发光器件的室温电致发光正受到前所未有的重视^[5]。在我们的前期工作中,我们采用等离子体增强化学气相沉积技术在低温下制备非晶氮化硅薄膜,并通过薄膜的氧化处理,获得氧诱导增强的非晶氮化硅薄膜的光致发光^[6]。实验结果表明光致发光来自于电子-空穴对在氮化硅带隙中 Si-O 发光中心形成的局域态的辐射复合。本文在前期的基础上,在 100 °C,以氧气为源气体,采用等离子体氧化技术氧化低温生长的非晶氮化硅薄膜,以这层薄膜作为有源层来制备发光器件。实验结果表明以此方法制备的掺氧氮化硅薄膜的电致发光开启电压低,发光强度高,且功耗低。光致发光谱和电致发光谱测量表明发光来自同一种发光中心,即与 Si-O 相关的发光中心。

2 实验

利用等离子体增强化学气相沉积(PECVD)技术,在室温下,以硅烷(SiH₄)和氨气(NH₃)作为反应气源在 p-Si(100)(4 Ωcm)衬底上淀积 a-SiN_x 薄膜。硅烷和氨气的流量分别为 8 sccm 和 30 sccm,反应气压为 0.62 Torr(1 Torr = 133.32 Pa),辉光放电功率为 20 W,薄膜厚度为 80 nm。接着,在衬底温度为 100 °C 的条件下,用氧等离子体源氧化室温生长的 a-SiN_x 薄膜,以形成含氧的 a-SiN_x 薄膜,以这层薄膜作为器件的有源层。采用热蒸发技术,直接在有源层上蒸镀一环形形状的金属铝(Al)薄膜作为阴极,内环的面积为 0.785 mm²,作为光发射窗口。作为阳极的 P 型硅一侧也蒸镀一层 Al 薄膜作为接触电极。器件结构如图 1(a)所示。用 FluoroMax-2 荧光光谱仪测试样品的光致发光(PL)和电致发光(EL)谱,样品的 PL 谱是在 325 nm 光激发下测得的。通过 HP4284A 半导体参数分析仪分析器件的电流-电压(*I-V*)特性。

3 结果与讨论

图 1 示出电致发光器件的结构及器件的伏安特性曲线。由图可知,器件具有良好的整流特性,在反向偏置电压下,无电流输出。这与反向偏置电压下器件无光输出的结果相符合。在正向偏置电压作用下,当电压大于 6 V 时,输出的电流随电压的增加而迅速增大。

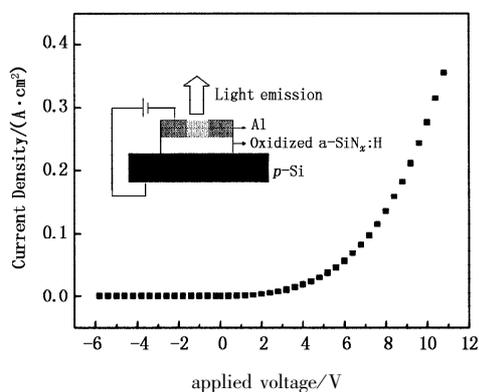
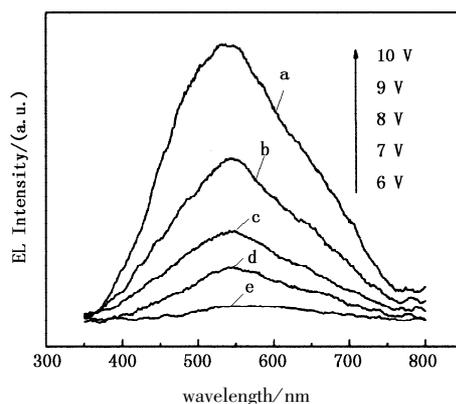


图1 器件在正向偏置电压下的电流-电压特性(插图为以P型硅为阳极的硅基发光器件结构图)

图 2 示出室温下测得的电致发光器件发光谱,由图可知,当正向偏置电压加至 6 V 时,可探测到器件的发光信号,发光谱峰位于 540 nm。由图还可看出,发光峰位不随正向偏置电压的增大而移动,而器件发光强度则随正向偏置电压的增大而迅速增强,当正向偏置电压提高至 10 V 时,可在弱光环境中清楚地观测到较强的绿光发射。我们发现,此条件下的工作电流密度低,仅为 277 mA/cm²,甚至远小于目前国际上单纯采用 a-SiN_x 作为有源层的发光器件的开启电流密度,这也表明我们研制的发光器件效率高。可见我们制备的器件具有开启电压低,发光强度高,且功耗低等特点。



a-6.0 V and 57 mA/cm²; b-7.0 V and 90 mA/cm²; c-8.0 V and 133 mA/cm²; d-9.0 V and 200 mA/cm²; e-10.0 V and 277 mA/cm²

图2 不同正向偏置电压下器件的 EL 谱

图 3 显示正向偏置电压条件下注入电流密度与器件电致发光谱积分强度的变化关系。可以看到,随注入电流密度的增大,电致发光谱积分强度逐渐增强,两者呈线性递增关系,这说明器件的电致发光是在偏压的作用下,电子和空穴分别从器件的阴极和阳极注入到器件的有源层中,通过有源层的发光

中心辐射复合发光。

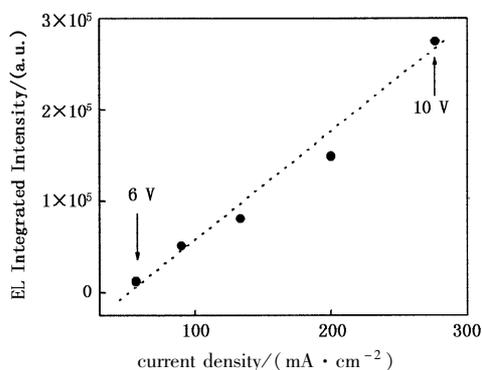


图3 正向偏置电压下器件的电致发光光谱的积分强度随电流密度的变化关系

图4 给出相同条件下制备的样品在不同激发波长下的光致发光谱。可以看到,在不同激发波长下PL峰位均位于500 nm,谱峰随着激发波长的增加并未发生移动,这说明样品只存在一种类型的发光中心,对应于500 nm的PL峰,样品的光学特性与我们前面报道的结果相一致^[6]。由此可见,峰位位于500 nm的发光峰来自于电子-空穴对在Si-O相关发光中心的辐射复合。比较器件的光致发光谱和电致发光谱,电致发光谱峰位相对于光致发光谱峰略有红移,这是由光致发光和电致发光的发光机制不同所引起的。因此,我们认为器件的电致发光来自于与光致发光相同的发光中心,即在偏压的作用

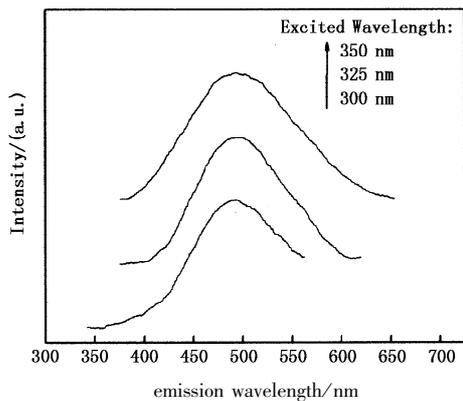


图4 不同激发波长下发光有源层的光致发光谱

下,电子和空穴分别从器件的阴极和阳极注入到器件的有源层中,通过有源层的Si-O发光中心辐射复合发光。

4 结 论

在等离子体增强化学气相沉积(PECVD)系统中,利用氧等离子体源氧化在室温下生长的硅基氮化物,以形成含氧的 $a\text{-SiN}_x$ 薄膜,并以其作为有源层来制备发光器件,实验结果表明器件发光强度高,开启电压低,这种方法既与当前微电子工艺技术相兼容,又能极大的降低生产成本,因此利用这种低温制备方法非常有望实现硅基单片光电集成,在未来的纳米光电子集成器件领域有极大的应用前景和价值。

参考文献:

- [1] Pavesi L, Dal Negro L, Mazzoleni C, et al. Optical gain in silicon nanocrystals [J]. *Nature*, 2000, 408 (23): 440-444.
- [2] Park N M, Choi C J, Seong T Y, et al. Quantum confinement in amorphous silicon quantum dots embedded in silicon nitride [J]. *Phys. Rev. Lett*, 2001, 86(7): 1355.
- [3] Dal Negro L, Yi J H, Michel J, et al. Light emission efficiency and dynamics in silicon-rich silicon nitride films [J]. *Appl. Phys. Lett*, 2006, 88(23): 233109.
- [4] Ma L B, Song R, Miao Y M, et al. Blue-violet photoluminescence from amorphous Si-in SiN_x thin films with external quantum efficiency in percentages [J]. *Appl. Phys. Lett*, 2006, 88(9): 093102.
- [5] Kim B H, Cho C H, Park S J, et al. Ni/Au contact to silicon quantum dot light-emitting diodes for the enhancement of carrier injection and light extraction efficiency [J]. *Appl. Phys. Lett*, 2006, 89(6): 063509.
- [6] Huang R, Chen K J, Qian Bo, et al. Oxygen induced strong green light emission from low-temperature grown amorphous silicon nitride films [J]. *Appl. Phys. Lett*, 2006, 89(22): 221120.