

用于共振腔光电探测器的 Si 基 Bragg 反射器*

李 成 杨沁清 朱家廉 王红杰 成步文 余金中 王启明

(集成光电子国家重点联合实验室 中国科学院半导体研究所, 北京 100083)

王鲁峰 彭 晔

(光电子工艺中心 中国科学院半导体研究所, 北京 100083)

摘要 Si 基共振腔型光电探测器的关键工艺是隐埋 Bragg 反射器镜面的制备. 用 PECVD 方法在 Si 衬底上制备了 $\text{SiO}_x\text{N}_y/\text{Si}$ Bragg 反射器, 研究了 Bragg 反射器的反射谱和退火行为.

关键词: 共振腔光电探测器; Bragg 反射器; 反射谱

PACC: 0762; 4200; 7755

中图分类号: TN 362 **文献标识码:** A **文章编号:** 0253-4177(2000)05-0483-03

Silicon-Based Bragg Reflector for Resonant Cavity Photodetector*

LI Cheng, YANG Qin-qing, ZHU Jia-lian, WANG Hong-jie,
CHENG Bu-wen, YU Jin-zhong and WANG Qi-ming

(National Integrated Optoelectronics Laboratory, Institute of Semiconductors,
The Chinese Academy of Sciences, Beijing 100083, China)

WANG Lu-feng and PENG Ye

(National Optoelectronics Technology Center, Institute of Semiconductors,
The Chinese Academy of Sciences, Beijing 100083, China)

Received 5 February 1999, revised manuscript received 18 May 1999

* 本课题得到了国家自然科学基金重大基金69896260项目和国家自然科学基金重点基金69789802项目和“863”国家高技术计划863-307-15-4(03)项目的资助[Project Supported by National Natural Science Foundation of China Under Grant No. 69896260 and 69789802 and by Chinese National High Technology (863) Plan Under Grant No. 863-307-15-4(03)].

李 成 男, 博士生, 目前主要从事硅基光电探测器的研究.

杨沁清 男, 研究员, 主要从事硅基集成光电子器件的研究.

王启明 男, 中国科学院院士, 研究员, 主要从事硅基及III-V族基光电子学的研究.

1999-02-05收到, 1999-05-18定稿

Abstract: The key technology of Si-based resonant cavity photodetectors is the fabrication of buried Bragg reflector. This paper reports a $\text{SiO}_x\text{N}_y/\text{Si}$ Bragg reflector which is fabricated by using Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition (PECVD) method. The reflectance spectra and annealing behavior of $\text{SiO}_x\text{N}_y/\text{Si}$ Bragg reflector are also studied.

Key words: resonant cavity photodetector; Bragg reflector; reflectivity spectrum

PACC: 0762; 4200; 7755

Article ID: 0253-4177(2000)05-0483-03

1 引言

硅基长波长光电探测器以其成本低廉、易与微电子集成等特点越来越受到人们的重视^[1]. $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x/\text{Si}$ 量子阱材料在 $1.3\sim 1.55\mu\text{m}$ 石英光纤窗口波段有显著的光吸收响应. 但是由于 SiGe 合金属于间接带隙材料, 吸收系数较小, 因而制作的探测器量子效率较低. 共振腔型 SiGe/Si 多量子阱光电探测器将是提高器件探测效率的有效途径^[2,3].

SiO_2/Si 、 $\text{SiO}_x\text{N}_y/\text{Si}$ 材料系折射率差较大, 适合于制作高反射率 Bragg 反射器, 是制作共振腔镜面的理想选择. 研究 $\text{SiO}_x\text{N}_y/\text{Si}$ 或 SiO_2/Si Bragg 反射器对制作共振腔型光电探测器是十分重要的. 但是在 SiO_xN_y 或 SiO_2 上外延单晶 SiGe 材料几乎是不可能的. 通过硅片键合制作带 Bragg 反射器的衬底是克服这一困难可能的途径^[4].

本文报道了用 PECVD 方法制备的 $\text{SiO}_x\text{N}_y/\text{Si}$ 结构 Bragg 反射器及其退火行为, 实验研究的 $3\frac{1}{2}$ 对 $\text{SiO}_x\text{N}_y/\text{Si}$ Bragg 反射器的反射率在 $1.3\mu\text{m}$ 处达到 98% 以上, 与理论计算结果符合较好.

2 $\text{SiO}_x\text{N}_y/\text{Si}$ Bragg 反射器的设计

Bragg 反射器是由高折射率介质(Si)与低折射率介质(SiO_xN_y)交替生长而形成. 每种介质厚度分别为

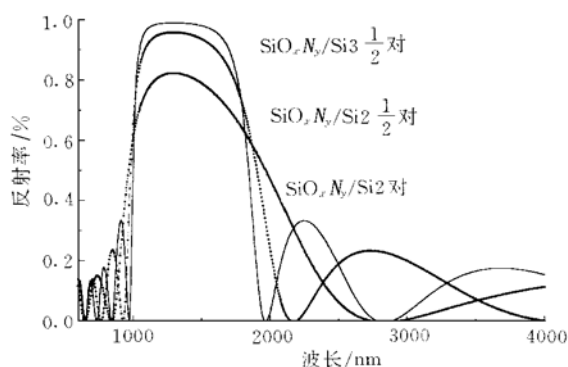


图1 不同对数 $\text{SiO}_x\text{N}_y/\text{Si}$ Bragg 反射器的
反射谱理论计算结果

FIG. 1 Simulated Reflectivity of Various
 $\text{SiO}_x\text{N}_y/\text{Si}$ Bragg Reflectors

$\lambda_0/4n$, n 为介质折射率, λ_0 为中心波长. 从这种多层介质膜的各层界面反射的光在到达表面时具有相同的相位, 产生相干增强, 从而具有高的反射率. 根据多层膜理论^[5], 我们以 $1.3\mu\text{m}$ 作为中心波长, SiO_xN_y 的折射率根据实验结果设为 1.6, Si 的折射率为 3.5, Si 层的厚度设计为 93nm, SiO_xN_y 层的厚度设计为 203nm. 对 $3\frac{1}{2}$ 对、 $2\frac{1}{2}$ 对和 2 对 $\text{SiO}_x\text{N}_y/\text{Si}$ 反射器的反射谱的计算结果如图 1 所示. 由图可知, $2\frac{1}{2}$ 对 $\text{SiO}_x\text{N}_y/\text{Si}$ 反射器在 $1.3\mu\text{m}$ 处的反射率可达到 95% 以上. $3\frac{1}{2}$ 对可得到 99% 的反射率, 完全满足共振腔底镜的要求.

3 实验结果与讨论

我们用 PECVD 方法制作了 $2\frac{1}{2}$ 和 $3\frac{1}{2}$ 对

$\text{SiO}_x\text{N}_y/\text{Si}$ Bragg 反射器, 生长条件为 300°C , 压强为 12Pa . 源为 SiH_4 、 N_2O 和 NH_3 . 对 $2\frac{1}{2}$ 对 $\text{SiO}_x\text{N}_y/\text{Si}$ Bragg 反射器, 用椭偏仪测得的 SiO_xN_y 实际厚度分别为 199.3 、 200 、 200nm , 折射率为 1.6 . 测得的反射谱如图2所示, 图中曲线为理论计算结果. $2\frac{1}{2}$ 对 $\text{SiO}_x\text{N}_y/\text{Si}$ Bragg 反射器在 $1.3\text{—}1.55\mu\text{m}$ 间, 反射率达到 93% 以上, 与理论值 95% 符合较好. $3\frac{1}{2}$ 对 $\text{SiO}_x\text{N}_y/\text{Si}$ Bragg 反射器在 $1.3\mu\text{m}$ 处反射率达到 98% 以上. 波长在 $1.4\mu\text{m}$ 以上时, 反射率值较理论预期值小, 这可能是由于样品表面非镜面, 引入漫反射损失而造成的误差. 另一方面, 由于 PECVD 生长过程中介质厚度控制不精确也损失一部分反射率.

用 PECVD 生长的 $\text{SiO}_x\text{N}_y/\text{Si}$ 为非晶态, 在器件制作过程中会遇到高温处理工艺, 要求 Bragg 反射器在器件制作过程保持良好的稳定性, 因此 Bragg 反射器高温退火特性的研究是十分必要的. 我们分别在 750 、 850 、 950 和 1000°C 下, 氮气气氛中快速退火 300s 后测试了样品的反射谱, 如图3所示. 退火温度越高, 反射率越低, 这主要是因为高温下非晶硅晶化后折射率变化导致该层不完全满足四分之一波长条件造成的. 在 750°C 下退火后, 反射率在我们感兴趣的中心波长 $1.3\mu\text{m}$ 处基本上没有变化.

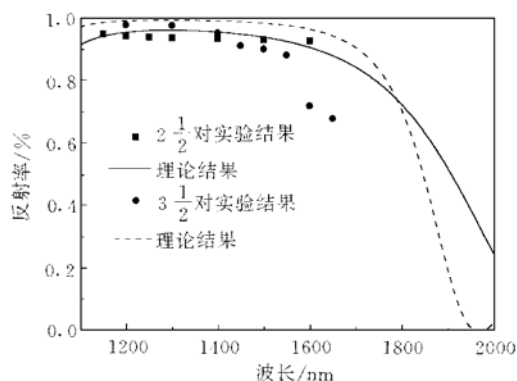


图2 $\text{SiO}_x\text{N}_y/\text{Si}$ Bragg 反射器反射谱实验与理论结果比较

FIG. 2 Comparison of Theoretical with Experimental Reflectivity of $\text{SiO}_x\text{N}_y/\text{Si}$ Bragg Reflectors

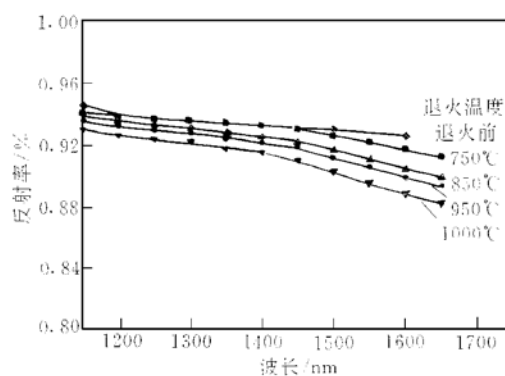


图3 高温退火对 Bragg 反射器反射谱的影响

FIG. 3 Influence of Thermal Annealing on Reflectivity of Bragg Reflectors

4 结论

本文从理论和实验上对硅基 Bragg 反射器进行了研究, 用 PECVD 法成功制作了 $\text{SiO}_x\text{N}_y/\text{Si}$ Bragg 反射器, $3\frac{1}{2}$ 对 $\text{SiO}_x\text{N}_y/\text{Si}$ Bragg 反射器的反射率在 $1.3\mu\text{m}$ 处达到 98% 以上, 与理论计算结果符合甚好, 完全能够满足硅基通信用长波长共振腔光电探测器的要求. 退火温度对反射器的反射率有一定的影响, 为保证反射器的稳定性和高反射率, 退火温度应取为 750°C 左右.

参 考 文 献

- [1] R. People, IEEE J. Quantum Electron., 1986, 22(9): 1696—1710.
- [2] J. C. Bean, L. J. Peticolas, R. Hull and D. L. Windt, Appl. Phys. Lett., 1993, 63(4): 444—446.
- [3] D. C. Diaz, C. L. Schow, Jieming Qi et al., Appl. Phys. Lett., 1996, 69(19): 2798—2800.
- [4] Q. Y. Tong, U. Gosele, Mater. Chem. Phys., 1994, 37: 101—127.
- [5] M. Born and E. Wolf, "Principles of Optics", Pergamon, Oxford, 1991.