

硅基室温电流注入 Ge/Si 异质结发光二极管

光学器件

胡炜玄 成步文 薛春来 薛海韵 苏少坚 白安琪 罗丽萍 俞育德 王启明

(中国科学院半导体研究所集成光电子学国家重点实验室, 北京 100083)

目前, 硅基光电集成所需的各个光子学单元已经取得了巨大的突破, 并且与现有的微电子工艺完全兼容: 硅基光波导在光通讯波段可以实现对光场的强限制以及低损耗传输; 通过外延高质量的锗薄膜, 实现了近红外波段的高速高量子效率的硅基光探测器; 调制速率高达 30 GHz 的基于硅基载流子等离子体色散效应的硅调制器也已经有报导。

然而, 实用化的硅基高效光源到目前还没有被实现。主要的困难在于硅是一种间接带隙半导体, 根据动量守恒的要求, 电子和空穴需要通过声子参与才能实现辐射复合发射光子。这种二级过程的发生几率很小, 因此硅材料的发光效率很低。目前, 有的研究小组采用混合集成的方法, 将具有优良发光性能的 III-V 族化合物半导体材料键合到硅上, 以实现硅基上的高效发光, 取得了较好的结果。但是其工艺与硅微电子工艺不兼容, 而且由于 III-V 族半导体和硅材料的热胀系数等参数差别比较大, 器件工作的稳定性等还有待进一步检验。采用纯硅材料或者采用与硅性质接近的硅基四族材料来实现硅基高效发光, 应该是最理想的选择。实现高效硅基发光有很多途径, 如硅掺镓发光、多孔硅发光、体硅材料发光、等电子掺杂发光等。最近, 由于外延技术的发展, 人们已经能够在硅上外延出高质量的锗薄膜, 使得硅基锗材料成为实现硅基高效发光器件的有力竞争者。首先, 锗与硅同属 IV 族元素, 与硅微电子工艺有很好的兼容性; 另外, 锗的直接带隙和间接带隙比较接近, 是一种准直接带隙半导体, 电子的辐射复合概率远比硅材料高。如果采用异质结构限制载流子, 或者引入应力等方法对锗进行改性, 有望实现硅基锗的高效发光。

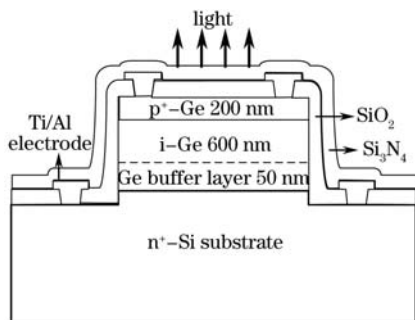


图 1 Ge/Si 异质结发光器件剖面结构示意图

为了论证硅基锗作为发光材料的可行性, 我们采用超高真空化学气相外延技术, 在硅衬底上生长出高质量的锗薄膜。双晶 X 射线衍射、透射电镜观察、腐蚀坑实验等表明锗薄膜具有好的晶体质量, 穿透位错密度约为 $1 \times 10^5 \text{ cm}^{-2}$ 。利用该材料, 我们制备出了圆形台面结构的 Ge/Si 异质结发光二极管, 首次实现了室温电流注入发光。器件结构如图 1 所示。

在正向偏压下测量了器件的电流注入发光光谱。当正向偏压大于 1.1 V 时, 开始能够观测到 1560 nm 附近的电致发光; 当正向偏压从 1.1 V 逐渐增大到 2.5 V 时, 电致发光的强度不断增大, 峰值波长不断蓝移, 如图 2 所示。发光强度和注入电流成正比、峰值波长的蓝移都证明了发光来自于载流子的辐射复合, 而非缺陷态。

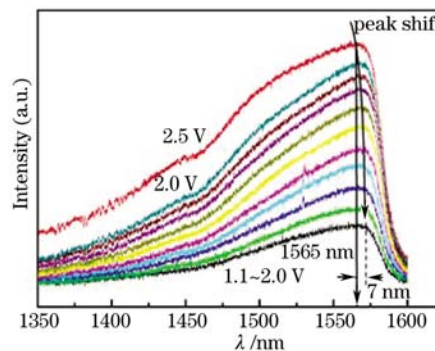


图 2 不同正向偏压下的电致发光谱

半导体激光器的发展, 经历了从同质结到异质结再到量子阱的发展过程。本文的结果表明硅基 Ge/Si 异质结二极管在室温电流注入下能够有效发光, 对高效硅基光源的发展具有重要意义。

基金项目: 国家 973 计划 (2007CB613404), 国家 863 计划 (2006AA03Z415) 和国家自然科学基金 (60676005) 资助课题。
通信作者: 成步文, E-mail: cbw@semi.ac.cn

参考文献

- 1 W. Hu et al.. *Appl. Phys. Lett.*, 2009, **95**(9): 092102
- 2 B. W. Cheng et al. in *Proceedings of the Fifth IEEE International Conference on Group IV Photonics*, 2008. 140~142