

激光加工形成硅基上的氧化低维纳米结构的 PL 发光*

黄伟其^{1,†} 吴克跃¹ 许 丽¹ 王海旭¹ 金 峰¹ 刘世荣² 秦朝建² 秦水介¹

(1 贵州大学贵州光电子技术与应用重点实验室, 贵阳 550025)

(2 中国科学院地球化学研究所, 贵阳 550003)

摘要: 用激光辐照硅样品和硅锗合金样品能够形成多种氧化低维纳米结构, 可以用激光与半导体相互作用产生的等离子体波模型来解释这些结构的形成机理. 其中, 在单晶硅上形成的网孔壁结构有很强的 706nm 波长的光致发光 (PL) 峰, 在硅锗合金上形成的多孔状结构于波长为 725nm 处有极强的 PL 峰, 在硅锗合金上形成的条形片状结构分别在波长为 760nm 和 866nm 处也有较强的 PL 峰; 这些结构表面都覆盖有氧化硅层, 在硅锗合金上的氧化硅层中镶嵌有纳米锗晶团簇, 并用相应的模型解释了这些氧化低维纳米结构的强光致发光效应.

关键词: 氧化低维纳米结构; 等离子体波; 光致发光

PACC: 7280E; 7860F

中图分类号: Q471.1

文献标识码: A

文章编号: 0253-4177(2008)01-0116-07

1 引言

硅与锗的材料在信息产业中的微电子工程里有很好的基础与应用, 硅和锗的器件便于实现硅基上的光电子集成, 且较砷化镓材料器件有环保上的优势^[1,2]; 但是硅和锗的间接跃迁能带结构使其发光效率较低, 限制了其应用范围, 这是目前的瓶颈难题. 近十几年来, 在研究硅和锗的发光性能时发现, 其低维结构形成的能带变化带来很强的 PL 发光^[3~5]. 过去常用电化学方法来生成硅和锗的低维结构^[6,7], 最近几年发现激光辐照方法对加工硅和锗的低维结构更为有效和简捷^[8~10].

目前, 迫切需要解决的问题是在硅和锗样品上生成稳定的低维结构并有较强且稳定的 PL 发光乃至 EL 发光. 最近的研究表明: 无论是纳米硅晶发光还是多孔硅发光, 其发光机理都与氧化硅层相关, 即所谓的纳米硅晶的光泵作用与氧化硅层发光中心的亚稳态激发. 传统的生成纳米硅晶和氧化硅层二体系统结构的方法为: 经高温退火在富硅氧化层中形成硅原子团簇, 或用溅射法将硅离子注入氧化层, 但其加工质量和稳定性都不理想. 我们认为: 用激光辐照手段生成纳米硅晶和氧化硅层二体结构应该是最有希望的方法, 包括: 在氧化层中用激光诱导硅离子或锗离子游离与凝聚、用激光辐照生成低维结构并使其表面氧化等; 激光辐照的助氧化作用是很明显的, 我们设计了相应的实验, 例如在激光辐照下的硅样品 300℃ 退火的氧化效果接近于 800℃ 的单纯退火的氧化效果; 又例如 30W 的 YAG 连续激光在硅表面辐照 20s 能生成十几纳米厚的氧化硅层; 在精密椭圆测厚仪上增加激光束的辐照强度, 可直接测量激光辐照时间与氧化层厚度增加的变化关系; 在硅的氧化层中

用激光诱导能生成镶嵌于层中的纳米硅或锗的量子团簇. 总之, 用激光辐照手段来构造氧化低维结构有独特的优越性.

本文选择用激光辐照的方法在单晶硅样品和锗硅合金样品上加工出具有较稳定的、稳定的 PL 发光特性的氧化低维结构, 包括用不同功率的连续激光和脉冲激光、乃至超快脉冲激光来加工样品, 并从物理层面上研究氧化低维结构的生成机理, 分析激光与硅材料、激光与锗硅合金材料的相互作用过程, 建立激光诱导的冷等离子体波作用模型, 从而指导激光加工的优化过程. 参照 QCLC 模型^[11~13], 建立量子受限-晶体与氧化物界面态综合模型来解释 PL 发光的增强效应, 并设法从低维纳米晶体量子受限态与氧化硅界面态的相对位置来构造 PL 发光增强效应的阈值分布结构, 从而解决所谓“临界尺寸”的难题^[14]. 我们认为: PL 发光的增强由较高的低维纳米晶体的电子能态分布和较低的氧化硅与纳米晶界面中的界面态分布所交织构成的阈值区间决定. 不同条件加工的不同纳米结构的晶体与氧化硅的界面态具有不同的特征分布, 从而产生不同频率的 PL 发光分布.

2 实验

在激光加工中, 辐照用的激光源有 20~40mW 的 532nm 波长的连续激光 (由 1064nm 波长的 YAG 激光倍频产生), 有 10~50W 的 1064nm 波长的 YAG 连续激光和对应的 10ns 脉宽的脉冲激光, 还有 120fs (180mJ/p) 的超快脉冲激光. 分别用单晶硅和锗硅合金作样品. 用分子束外延 (MBE) 方法或化学气相沉积 (CVD) 方法生成 $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ ($x = 0.25$) 薄膜衬底.

用各种功率的连续激光和脉冲激光分别照射单晶

* 国家自然科学基金资助项目 (批准号: 10547006)

† 通信作者. Email: WQHuang2001@yahoo.com

2007-03-31 收到, 2007-08-20 定稿

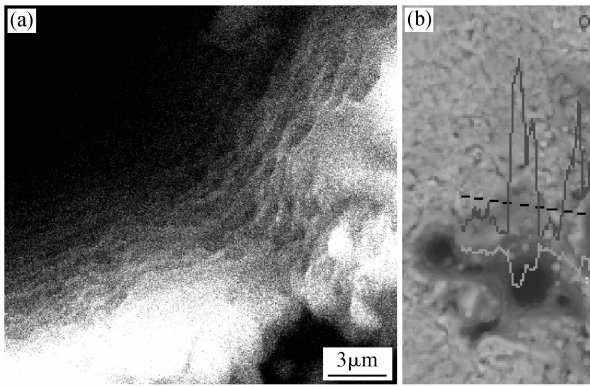


图 1 (a)洞壁上的网状低维纳米硅晶体结构的 SEM 像;(b)洞壁上的氧化分布图(上方的曲线为氧的成分分布,下方的曲线是硅的成分分布)

Fig.1 (a) SEM Photo of the hole-net structure of silicon forming at the inside of the hole drilled by laser;(b)Line-distribution diagram of oxygen on the silicon sample obtained by using the line scanning technique of element analysis

硅样品或硅锗合金样品.当采用几十 mW 的小功率激光辐照时,同时用电化学方法加工样品.改变激光辐照的功率、辐照的时间和环境参量,在各种加工的样品中寻找稳定的、较强的 PL 发光的氧化低维结构.用电子扫描探针(EPMA-1600 型,日本岛津公司制造)的扫描二次电子和背散射电子成像技术分析样品的形貌结构;并用电子扫描探针的元素线分布和元素面分布分析技术测量样品的形貌结构对应的成分分布;用英国 RENISHAW 公司的 Raman 光谱仪测量样品结构所对应的光致发光谱.

经大量的实验探索,筛选出 3 种有价值的样品,其加工过程与结果描述如下:

(1) 用电阻率为 10~20Ω·cm 的 p 型 Si 作样品.首先将样品进行清洗,然后用 1064nm 波长、20~30W 功率的 YAG 连续激光辐照样品,辐照时间分别为 1, 2, 3, ..., 15s.在硅样品表面打出孔洞.

控制加工条件:固定 YAG 激光的工作电流,使输出功率为 30W;用特有的“散焦束斑”方法控制激光辐

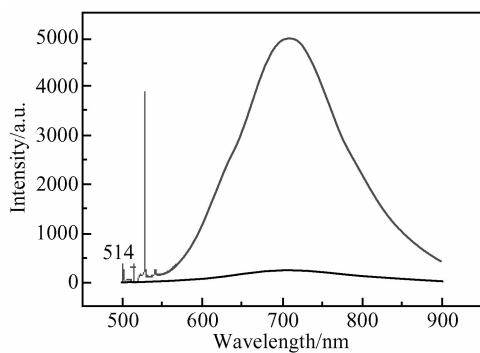


图 2 PL 发光对比图 洞壁上网孔状结构处的 PL 发光比多孔硅 PL 发光的要强 2 个数量级(比较可见:多孔硅的 PL 发光并不弱,由此衬托出网孔状结构处的 PL 发光很强).

Fig.2 PL peak at 706nm wavelength related to the hole-net structure of silicon whose PL emission of porous silicon anodized alone

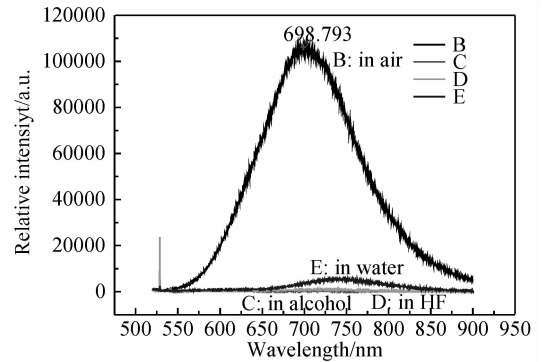


图 3 脱氧加工的样品的 PL 发光对比图 分别浸入酒精和氢氟酸进行激光辐照加工的样品几乎没有 PL 发光,水中的样品仍有一些 PL 发光.

Fig.3 Weaker PL emission of the samples which were immersed in HF(49%), Ethanol and pure water, respectively when irradiated

照到样品上的能量,激光束的辐照圆斑直径调整到 30~50μm;辐照时间控制为 8~9s.这时,在硅样品表面被打出的孔洞的侧壁上形成较规则的网孔状结构,各个网孔由几 nm 厚的网孔壁相互隔开,如图 1(a)所示.

用波长 514nm 的激光会聚为 1μm 直径的束斑,PL 发光的区域可定位于洞壁上的网孔状结构处.发现该处有很强的 PL 发光,其强度比一般的多孔硅样品的 PL 发光强度要大 2 个数量级,如图 2 所示.

用电子探针元素线扫描分布技术分析来显现洞壁上的氧化程度(如图 1(b)所示).

为了确定硅样品表面氧化在增强 PL 发光上所起的作用,我们设计并进行了以下实验:将硅样品作预处理后,分别浸入酒精、氢氟酸和水中进行激光辐照加工;在保持浸泡状态中检测样品的 PL 发光,如图 3 所示.这样,将激光与硅样品的作用过程和检测过程均隔离于无氧化的环境中.分别比较将硅样品浸入酒精、氢氟酸和水中的激光加工样品的 PL 发光结果,浸入酒精和氢氟酸中的硅样品表面基本没有氧化,故几乎没有 PL 发光;而在水中用激光加工的硅样品表面情况较复杂,仍有较少的氧化发生,故仍有较弱的 PL 发光.

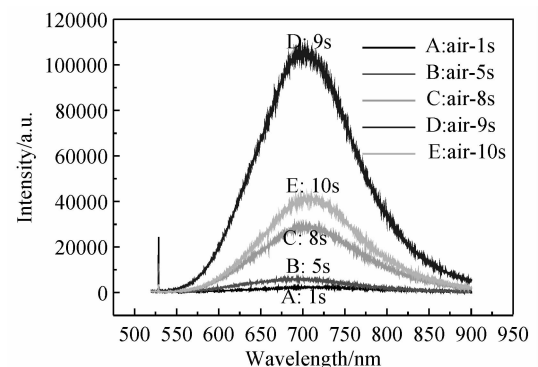


图 4 与时间相关的 PL 图 开始时样品的 PL 发光随激光加工时间增加而增强;当激光加工时间在 9s 时,PL 发光最强.

Fig.4 PL emission changing with the irradiation time in the sample A Optimum condition of preparing sample A in which the most enhanced PL peak is found.

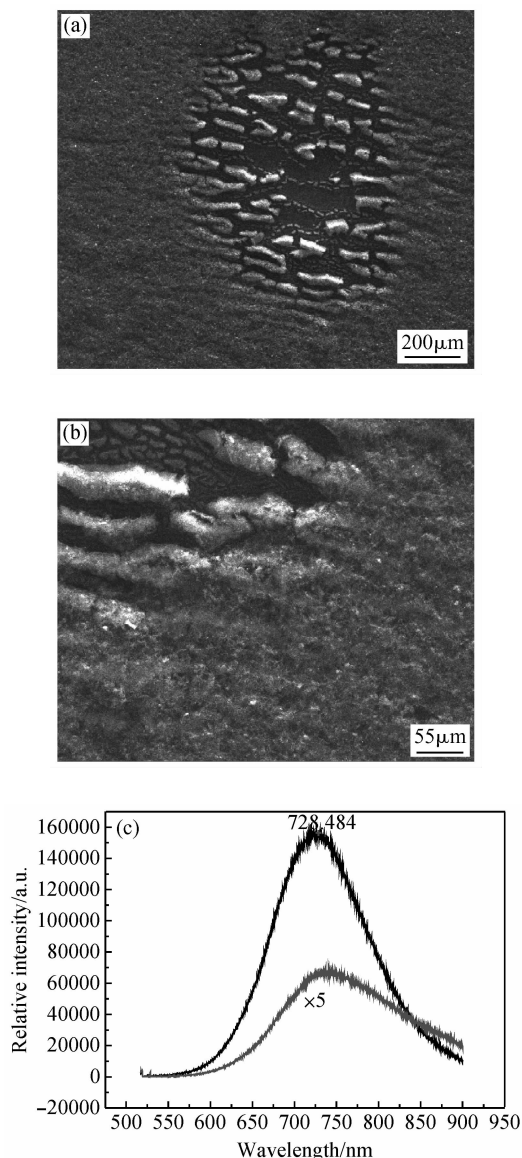


图 5 (a)多孔硅经激光辐照后形成按一定方向排列的多孔条棒结构;(b)激光束斑辐照的边缘区域;(c)多孔条棒结构与未辐照多孔硅的 PL 发光比较

Fig.5 Results of preparing sample B (a) Anodizing the silicon with the irradiation of the laser beam;(b) Boundary region of irradiating spot on the sample;(c) Comparing the PL peak emitted from the condensed rods in the irradiating and anodizing region with that from the porous silicon anodized alone, the former is higher and sharper obviously

我们设计和进行了优化激光加工时间实验.先作样品的预处理:用酒精清洁样品表面,用氢氟酸溶液(NH_4F (49%): HF =10:1)清除样品表面在大气中生成的天然氧化物,再用去离子水浸泡 30s.吹干后,将功率为 30W、波长为 1064nm 的 YAG 激光(束斑大小为 0.05mm)辐照在样品表面上,辐照时间分别为 1,2,3,4,5,6,7,8,9 和 10s.激光加工时间对样品的 PL 发光的强度有显著影响,如图 4 所示,而发光峰的频率基本不变.样品的 PL 发光最强时的激光照射时间约为 9s.

(2)用电化学方法刻蚀上述的硅样品表面,电解液为氟化氢(49%)与酒精按 1:2 的体积比例配制而成,

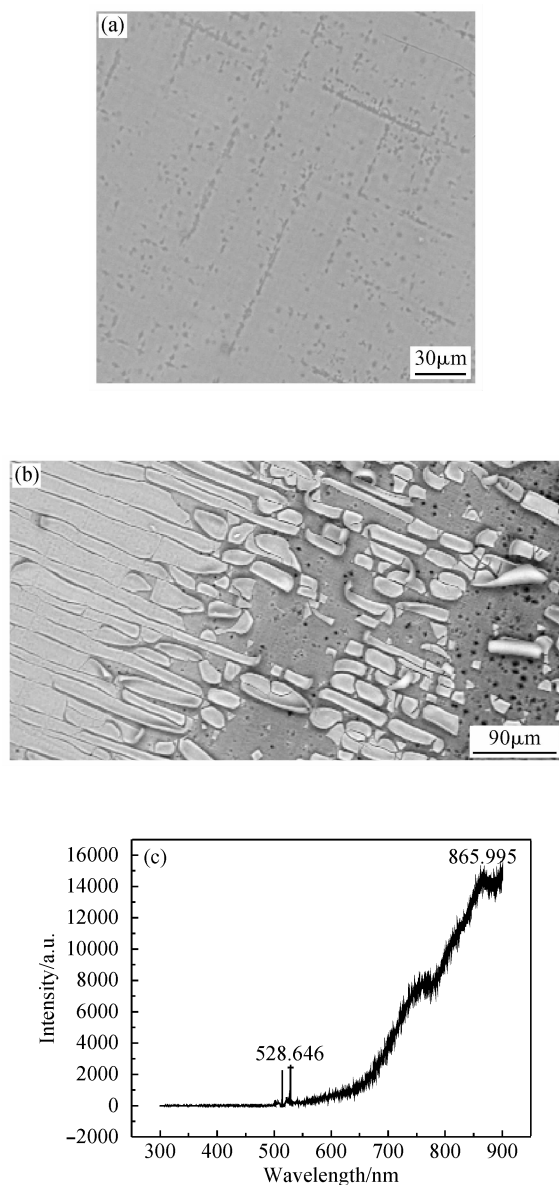


图 6 (a)激光辐照后, $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ 合金薄膜上的小孔和线状结构;(b)增加激光辐照的时间,形成 $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ 合金片状结构;(c) $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ 合金片状结构发出的很强的、并有红移的 PL 光谱峰

Fig.6 SEM images of the low-dimensional structures of the samples C (a) The dots structure and the lines structure on the $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ film formed under a weaker irradiation of laser;(b) Nanostrap pieces structure after digging up the $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ layer with a stronger laser;(c) PL spectrum from the structure of strap pieces

电流密度为 $40\text{mA}/\text{cm}^2$,刻蚀的时间分别为 5,10,15 和 30min.在电化学刻蚀的同时,用 532nm 波长、30mW 功率的激光束辐照,用“散焦束斑”方法将激光的辐照束斑调整到直径为 $700\mu\text{m}$.“散焦束斑”方法为:固定激光加工的条件,只改变样品的位置,从而改变照射到样品表面的激光辐照束斑大小,这样来控制激光照射到样品表面单位面积上的能量.硅样品表面所形成的多孔硅被激光辐照后,形成按一定方向排列的多孔条棒结构,如图 5(a)和(b)所示.该结构的 PL 发光比未辐照多孔硅的 PL 发光强得多,如图 5(c)所示.

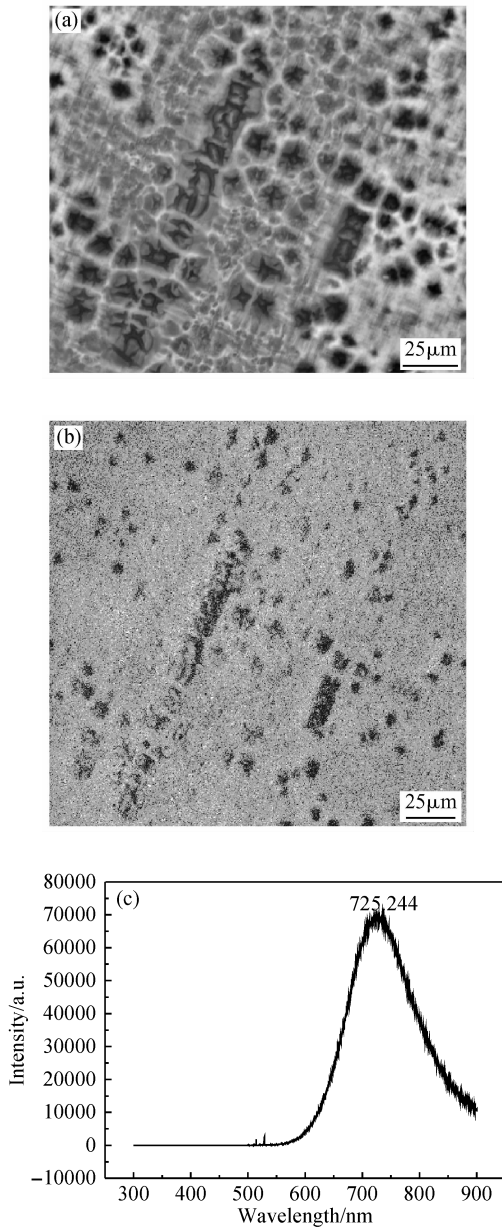


图 7 (a) 硅锗合金薄膜的残存物留在硅衬底上形成的微米尺度的网孔状结构; (b) 网孔状表面的氧化强度分布; (c) 网孔状结构氧化较强处有极强的 PL 发光

Fig.7 (a) A kind of porous structure on the substrate under anodizing and irradiating for 30min when the $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ layer is almost dug out; (b) Oxygen distribution diagram on the porous structure; (c) PL peak emitted from the more oxygen part of the porous structure

(3) 用硅锗合金作样品. 首先在硅基上用 MBE 方法生成 2000nm 厚的 $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ ($x = 0.25$) 合金薄膜; 然后用电化学方法刻蚀该薄膜表面, 电解液为氟化氢 (49%) 和酒精按 1 : 2 的比例配制而成, 电流密度为 40mA/cm², 刻蚀的时间分别为 5, 15 和 30min. 在电化学刻蚀的同时, 用 532nm 波长、30mW 功率的激光束辐照薄膜表面; 并用“散焦束斑”方法将激光的辐照束斑直径调整为 700 μm .

如图 6(a) 所示, 700 μm 直径的激光束辐照在 $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ 合金薄膜上 10~15min 时, 会形成许多小孔和线状

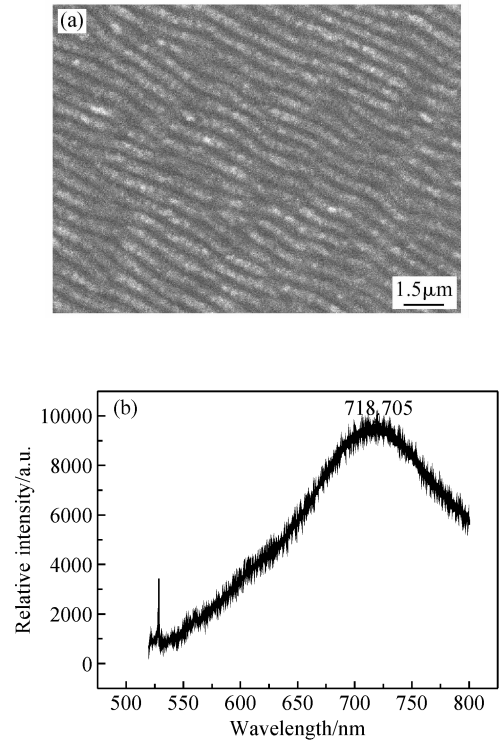


图 8 (a) 飞秒激光照射在硅表面上能够加工出 100nm 光栅常数的条纹状结构; (b) 光栅条纹状的结构有较强的 PL 发光

Fig.8 (a) Grid structure of silicon formed on the silicon surface when the irradiation energy reaches to the level near the ablation threshold for Si; 0.17J/cm²; (b) Spectrum of the intensive PL emission in the grid structure

结构. 增加辐照的时间, $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ 合金薄膜会沿着特定的方向裂解并断裂而形成片状结构, 如图 6(b) 所示. 并发现, $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ 合金片状结构能发出较强的 PL 光谱峰, 且有明显的红移现象, 如图 6(c) 所示.

控制激光的加工条件, 使得硅锗合金薄膜的上层刚好剥离, 该薄膜的下层还有残存物留在硅衬底上, 形成微米尺度的网孔状结构, 如图 7(a) 所示; 用电子探针面扫描元素分析技术给出该结构表面的氧化强度分布, 如图 7(b) 所示; 并测量该结构所对应的 PL 光谱, 如图 7(c) 所示, 发现网孔状结构氧化较强处有极强的 PL 发光, 其峰位在 725nm.

据我们目前的观察与分析, 在上述的硅锗合金样品中, 虽然表面上并没有发现纳米结构, 但是在氧化层中却镶嵌了大量的硅和锗纳米团簇, 特别是: 由结合自由能的差别引起各自的析锗反应, $\text{Si} + \text{GeO}_2 + \text{Photon} \rightarrow \text{SiO}_2 + \text{Ge}$, 从而游离出大量的锗原子, 并凝聚为锗纳米团簇.

(4) 我们用高强度的超短脉冲激光来加工硅样品和硅锗合金样品, 以期得到各种有用的低维结构. 采用“散焦束斑”的方法来控制照射到样品表面的激光脉冲能量, 使其能量密度达到硅熔融阈值附近, 与激光诱导出的等离子体波相干作用, 在硅样品上能产生一种类似浮雕光栅条纹状的结构, 如图 8(a) 所示, 其光栅常数为几百纳米. 这种飞秒激光加工手段, 在光学光栅的制作和微电子集成电路的刻蚀加工领域应该有很好的应用前

景.我们还发现这种光栅条纹状的结构有较强的 PL 发光(如图 8(b)所示).

在实验中,我们采用未掺杂的单晶硅作样品.先作样品的预处理:用酒精清洁样品表面,用氢氟酸溶液(NH_4F (49%): $\text{HF} = 10:1$)清除样品表面在大气中生成的天然氧化物,再用去离子水浸泡 30s.吹干后,用 180mJ/p , 120fs 的超快脉冲激光照射样品;用“散焦扩束”的方法,得到不同直径的飞秒激光束斑照射到样品表面.

3 讨论

激光与半导体样品相互作用产生等离子体波,在孔洞中形成谐振驻波,我们用该模型来解释洞壁上的网状低维结构的形成机理.其形成机理为:高强度的连续激光照射在硅材料上,激发出的电子-空穴对构成等离子体系统,其局部的迁移形成内部的电场和磁场.在内部的电磁场作用下,电子-空穴对等离子体产生振荡形成等离子体波,其频率为:

$$\omega = e(n/m\epsilon)^{1/2}$$

该等离子体振荡频率正比于载荷子密度 n 的平方根,而载荷子密度 n 又正比于激光脉冲的辐照能量^[9].控制激光加工的功率和时间等参量,使等离子体波的波长对于孔洞孔径尺寸满足谐振条件,在孔洞中便有等离子体波的谐振驻波产生,该驻波在孔洞侧面上形成的驻波节线构筑起网孔状结构的纳米尺度孔壁(量子线),该结构有很强的 PL 发光效应.由上述可知,控制激光照射到样品上的能量是形成该结构的关键.

在优化激光加工条件时要考虑的另一因素是氧化程度随着激光辐照时间和辐照能量等的变化.上述的低维结构表面都有一层氧化硅包裹,在这层氧化硅中镶嵌有纳米硅或纳米锗晶体团簇,氧化硅层的厚度会影响纳米团簇的尺寸.激光的辐照有两方面的作用:其一是诱导在纳米尺度的氧化层中生成越来越多的硅和锗的纳米团簇,特别是由结合自由能的差别引起析锗反应从而游离出大量的锗原子,并凝聚为锗纳米团簇,激光辐照时间变长和能量的增加会促进该过程的进行;其二是氧化硅层的厚度随着激光辐照时间和能量的增加而增加,其中镶嵌的纳米团簇的尺寸也跟随变大,从而影响 PL 发光的强度.更重要的是,氧化硅层厚度的增加会影响到纳米与氧化硅界面的结构.

用飞秒激光脉冲辐照样品时,光子与物质主要是冷相互作用,从而促进氧化作用比较弱.只有在硅样品表面形成的亚微米光栅结构有较强的 PL 发光.

我们建立量子受限-晶体与氧化物界面态综合模型来解释 PL 发光的增强效应,该模型参照了 QCLC 模型^[11],但在三个地方是有特点的.我们的模型认为:(1)低维纳米结构展宽了光致激发的能隙,只要这种低维纳米结构对应的量子受限能隙宽度大于氧化界面态的能隙宽度,如图 9(a)所示,受限跃迁的电子便能被氧化界面亚稳态所俘获,就可能实现受激辐射,从而有较强的

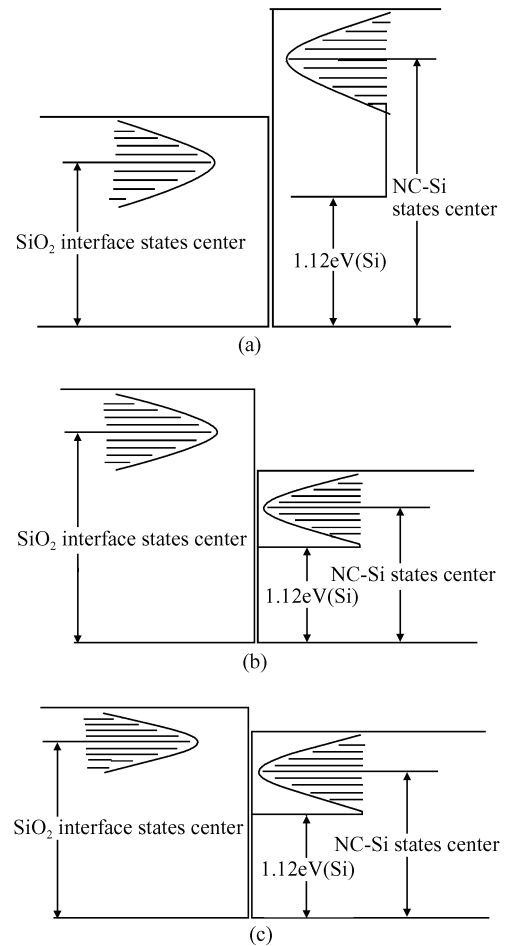


图 9 (a)PL 发光最强时的能态分布;(b)PL 发光较弱时的能态分布;(c)PL 发光强与弱互相变化时的能态分布

Fig.9 (a)Energy states distribution related to the most intensive PL emission;(b)Energy states distribution with weaker PL emission;(c)Energy states position when PL changing from weaker to stronger

PL 发光,这种氧化硅界面态形成的亚稳态分布与低维纳米受限态分布的相对位置结构便构造了受激发光的阈值区间;而当低维纳米结构的尺寸变化,其对应的量子受限能隙宽度小于氧化界面态的能隙宽度时,跃迁的电子不能跳到氧化界面的亚稳态上,如图 9(b)所示,只能发生较弱的自发辐射.(2)图 9(c)的情况为 PL 发光强与弱互相转变的阈值过渡区间,在这里没有一个绝对的单一的所谓低维纳米结构的“临界尺寸”,而是由低维纳米结构的量子受限态分布与氧化硅界面态分布的相对位置来构造一个阈值过渡区间.(3)氧化界面态的能级具有某种分布(受材料和加工条件的影响),该分布的中心和布居宽度由氧化硅在界面处的结构决定.用该模型来处理 PL 发光问题,最关键的特点是 PL 发光的强度和频率不是由低维纳米晶体的绝对尺寸来决定的,例如:当低维纳米晶体的尺寸小于 3nm 的“临界尺寸”时,只要低维纳米结构的量子受限态分布与氧化硅界面态分布的相对位置满足图 9(a)的条件,仍然是量子受限-晶体与氧化物界面态综合模型起作用,其判定依据是很多实验中的晶体尺寸小于 3nm 的氧化纳米晶 PL 发光的

频移并不遵循量子受限的蓝移规律,而是 PL 发光的频率会靠近某个值^[14,15]。

该模型主要用于解释 PL 发光增强效应,设法从新的角度解决 QC 模型和 QCLC 模型的“临界尺寸”难题。我们认为,无论氧化纳晶的尺度大小,只要满足图 9(a)的条件,就有 PL 发光增强效应出现,并伴随频率钉扎现象。不同的晶体与氧化物界面态有不同的特征分布,这对于解释不同样品的 PL 光谱的频率变化与钉扎现象是很重要的。

用该模型能够解释本文实验的结果。特别用其解释图 6 中的硅锗合金片状结构的多峰 PL 强发光效应也是成功的。这种结构有明显增加的表面,表面形成氧化硅层,激光诱导在氧化层中形成纳米硅晶和纳米锗晶的团簇,其量子受限作用展宽了能隙,而硅晶与氧化硅的界面态不同于锗晶与氧化硅的界面态,在各自的结构下分别对应于 760 nm 波长和 866 nm 波长等多处 PL 发光峰。

4 总结

从大量的激光加工实验中,我们寻找到 4 种 PL 强发光的氧化低维量子结构,形成稳定的激光辐照加工方法与流程。(1)在硅样品上加工出小孔洞壁上的氧化网孔状纳米线结构;(2)硅锗合金膜被激光辐照后裂解、断开并卷曲成氧化片状结构;(3)硅锗合金膜被激光辐照后剥落,在残存衬底上形成氧化多孔结构;(4)控制飞秒激光束的照射能量在硅表面加工出亚微米光栅结构。我们参照 QCLC 模型,给出量子受限-晶体与氧化物界面态综合模型来解释上述氧化低维量子结构的 PL 发光增强效应和不同频率的钉扎效应。该模型提出,氧化界面态形成的亚稳态分布与氧化硅界面态分布的相对位置构造了受激发光的阈值区间。所以,无论氧化纳晶的尺度大小,只要低维纳米结构对应的量子受限效应展宽能隙而使电子跃迁态高于氧化硅界面态,就会有大量的电子被氧化硅界面态所捕获,可能产生较强的受激辐射。用这种相对的电子态分布取代了单一的所谓低维纳米结构的“临界尺寸”,能更好地解释实验的结果。

最近的离子散射实验研究表明^[16]:氧化硅界面态分布在氧化硅界面处三个原子层区域。而在光致发光中形成光泵作用的量子受限效应所需的氧化低维纳米结构有两种:包裹型的(如多孔硅、网孔硅等)和镶嵌型的(如氧化硅中的硅团簇、锗团簇和富锗层等)。有待进一步研究的问题是光子与半导体作用产生的电子与空穴从硅或锗纳米晶体能量转移到氧化硅界面态属于 Dexter 类型还是属于 Forster 类型或是两者兼有。

参考文献

- [1] Wong H S P, Frank D J, Solomon P M, et al. Nanoscale CMOS. Proceedings of the IEEE, 1999, 87(4): 537
- [2] Chenming Hu. Silicon nanoelectronics for the 21st century. Nanotechnology, 1999, 10(2): 113
- [3] Xia Jianbai, Xie Guowei. Electronic states and optical properties of silicon-based low dimensional structures. Journal of Nanjing University (Natural Sciences), 2005, 41(1): 4 (in Chinese) [夏建白, 谢国伟. 硅基低维结构的电子态和光学性质. 南京大学学报, 2005, 41(1): 4]
- [4] Kanemitsu Y, Uto H, Matsumoto Y, et al. Microstructure and optical properties of free-standing porous silicon films: size dependence of absorption spectra in Si nanometer crystallites. Phys Rev B, 1993, 48: 2827
- [5] Qin G G, Liu X S, Ma S Y, et al. Photoluminescence mechanism for blu-light-emitting porous silicon. Phys Rev B, 1997, 55: 12876
- [6] Kanemitsu Y, Uto H, Matsumoto Y, et al. Microstructure and optical properties of free-standing porous silicon films: size dependence of absorption spectra in Si nanometer crystallites. Phys Rev B, 1993, 48: 2827
- [7] Cullis A G, Ganham L T. Visible light emission due to quantum size effects in highly porous crystalline silicon. Nature, 1991, 353: 335
- [8] Huang Weiqi, Liu Shirong. Properties of germanium nanostructures by laser irradiation with oxidation. Acta Physica Sinica, 2005, 54: 459 (in Chinese) [黄伟其, 刘世荣. 激光照射下的低温氧化生成锗的纳米结构及特性. 物理学报, 2005, 54: 459]
- [9] Huang Weiqi, Liu Shirong, Xu Li, et al. Low-dimensional structures formed by irradiation of laser. Chinese Physics, 2007, 16(3): 725
- [10] Huang Weiqi, Liu Shirong. Self-assembled germanium nanostructures by laser-assisted oxidation. Chinese Physics, 2006, 15(2): 389
- [11] Qin Guogang, Li Yujie. Photoluminescence mechanism model for oxidized porous silicon and nanoscale-silicon-particle-embedded silicon oxide. Journal of Nanjing University (Natural sciences), 2005, 41(1): 14 (in Chinese) [秦国刚, 李宇杰. 氧化多孔硅和纳米硅粒镶嵌氧化硅光致发光机制模型. 南京大学学报, 2005, 41(1): 14]
- [12] Qin G G, Liu X S, Ma S Y, et al. Photoluminescence mechanism for blu-light-emitting porous silicon. Phys Rev B, 1997, 55: 12876
- [13] Qin G G. Extended quantum confinement/luminescence center model for photoluminescence from oxidized porous silicon and nanometer-Si-particle or nanometer-Ge-particle embedded silicon oxide films. Material Research Bulletin, 1998, 33: 1857
- [14] Wolkin M V, Jorne J, Fauchet P M, et al. Electronic state and luminescence in porous silicon quantum dots: the role of oxygen. Phys Rev Lett, 1999, 82: 197
- [15] Huang Weiqi, Liu Shirong, Qin Zhaojian. Germanium quantum dots formed by oxidation of SiGe alloys. Acta Physica Sinica, 2006, 55(5): 2488 (in Chinese) [黄伟其, 刘世荣, 秦朝建. 氧化硅层中的锗纳米晶体团簇量子点. 物理学报, 2006, 55(5): 2488]
- [16] Bongiorno A, Pasquarello A, Hybertsen M S, et al. Transition structure at the Si (100)-SiO₂ interface. Phys Rev Lett, 2003, 90: 186101

PL Emission of Low-Dimensional Structures Formed by Laser Irradiation^{*}

Huang Weiqi^{1,†}, Wu Keyue¹, Xu Li¹, Wang Haixu¹, Jin Feng¹, Liu Shirong²,
Qin Zhaojian², and Qin Shuijie¹

(1 *Key Laboratory of Photoelectron Technology and Application, Guizhou University, Guiyang 550026, China*)

(2 *Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang 550003, China*)

Abstract: Certain low-dimensional nanostructures can be formed by laser irradiation on pure silicon samples and on the SiGe alloy samples. These low-dimensional nanostructures are generated by the interaction between semiconductors and the plasma produced with laser irradiation. We studied the photoluminescence (PL) of the hole-net structure of silicon and the porous structure of SiGe where the PL intensity at 706nm and at 725nm wavelength increases significantly. It is proved that surface oxidation of these structures occurs. The effect of intensity-enhancement of the PL peaks cannot be explained by quantum confinement alone. We propose a mechanism for increasing PL emission in the above structures, in which the trap states of the interfaces between SiO₂ and nanocrystal play an important role.

Key words: low-dimensional nanostructures; plasma wave; photoluminescence; interface states

PACC: 4255R; 4270Q

Article ID: 0253-4177(2008)01-0116-07

^{*} Project supported by the National Natural Science Foundation of China (No.10547006)

[†] Corresponding author. Email: WQHuang2001@yahoo.com

Received 31 March 2007, revised manuscript received 20 August 2007