第10卷 第6期　　半 导 体 学 报　　Vol. 10, No. 6
1989 年 6 月　　CHINESE JOURNAL OF SEMICONDUCTORS　　June, 1989

高剂量离子注入激光退火 SOM 上硅膜的 Raman 光谱*

钱佑华　　冷静民
（复旦大学物理系，上海）
林成鲁　　邢昆山
（中科院上海冶金所离子束开放实验室，上海）

1988 年 3 月 15 日收到

用 Raman 光谱测量了高剂量 B^+ 注入后，经不同激光功率退火的 SOM 上的硅膜．硅膜的晶化和杂质的激活，在光谱上得到充分的反映．满足临界条件的激光退火工艺，可使 SOM 达到制作压敏器件的要求．设计了两种不同的样品区域，来分辨晶化与重掺各自对 Raman 散射的贡献．对光谱特征随退火功率的变化以及 Fano 线形问题，作了初步的分析讨论．

主题词：SOM，高剂量 B^+ 注入，应力，Fano 线形

硅-二氧化硅-金属（SOM）结构是制造压敏传感器的一种新型材料．在坡莫合金衬底上先用 CVD 技术淀积一层约 1 μm 厚的 SiO_2，再在上面辉光放电（GD）淀积厚约 0.5 μm 的 a-Si 膜，形成 SOM 的基本形态．接下去要求将 a-Si 晶化并 P 型重掺杂，以满足器件的需要．我们用 B^+ 重注入激光退火(IILA)工艺成功地解决了这个问题[1]．实验证明，激光扫描功率选择适当，a-Si 膜的晶化和重掺 B^+ 受主的充份激活同时实现，是可以做到的．

向 a-Si 膜注 B^+ 的能量是 60keV，所以射程约为 0.2 μm．剂量 $5\times10^{15}cm^{-2}$．如果退火晶化和离子激活充分，表面形成室温空穴浓度约 $5\times10^{19}cm^{-3}$ 的重掺 P 型 C-Si 层．用于 a-Si 晶化同时 B^+ 激活的是 CW Ar^+ 激光束，其功率可在 2—6W 之间调变．束斑线度 40 μm，退火时移动扫描速率 4cm/s．膜温预热至 350—400℃．我们的检验表明，尽管 a-Si 吸收 Ar^+ 激光较强，在所用的工艺条件下，注入层的晶化和受主激活仍能达到满意的效果，其中的关键是激光功率的合理选择．

Raman 光谱可用于诊断 SOM 上经 IILA 的 Si 膜质量．Raman 测量的激发光也是 Ar^+ 激光，信息深度约 0.1 μm，虽未及整个重注入层厚度，但质量诊断的可靠性是可信赖的．

从基础研究的方面看，重掺 P 型 Si 的 Raman 行为复杂，至今令人感兴趣．我们的重掺 P-Si 制作在 SiO_2 上，由 IILA 工艺制成，难以避免地有晶化应力产生．为了分辨

* 本课题得到国家教委博士点基金的资助．

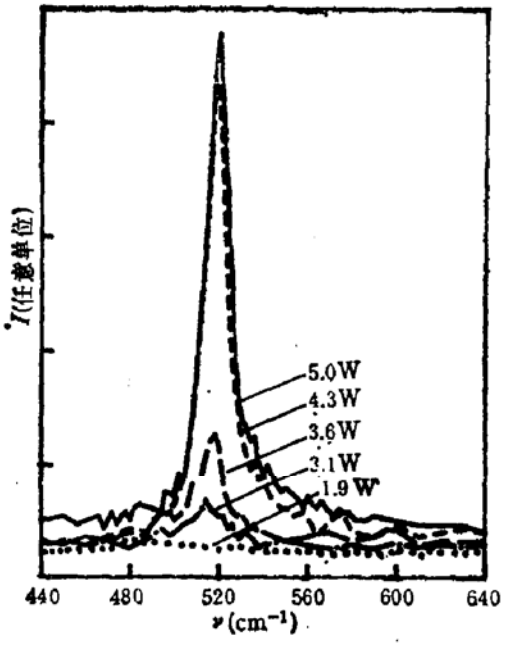

图 1 重 B^+ 注入 SOM 上 a-Si 层，经不同功率 LA 后测得的含应力重掺 Si 膜的 Raman 谱(功率值标明于相应的谱线上)

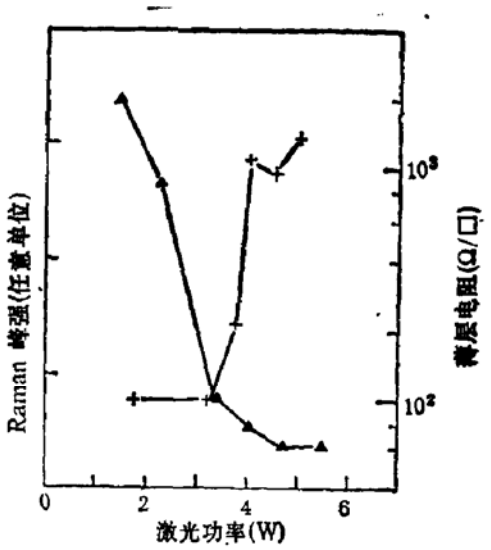

图 2 Raman 峰强和薄层电阻随 LA 激光功率的变化
+Raman 峰强 ▲薄层电阻

重注入 B^+ 和晶化应力二者对 Raman 光谱各自的贡献，我们在 SOM 的 a-Si 膜上保留一个不注入区. 后继的激光退火 (LA) 则照常在与注入区相同的条件下进行. 采用这样的样品设计，Raman 谱的不同无疑是反映了重 B^+ 注入的影响. 这个方法将可推广于研究 SOI, SOS 等其它种类的多层结构，来达到类似的目的.

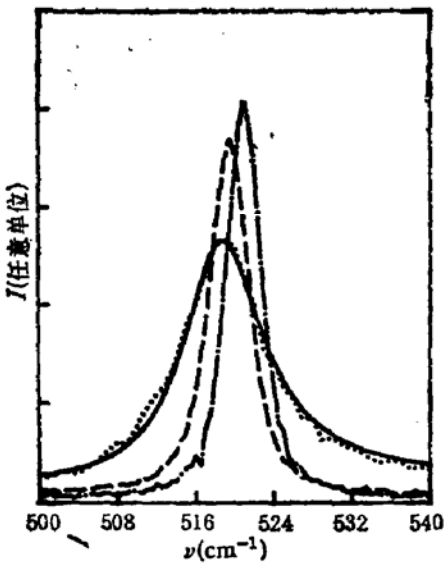

图 3 4.2W LA，400℃预热，注入区和非注入区的 Raman 谱
实验{——非注入区 ·····注入区
——Fano 公式拟合 — · — C-Si 特征峰

图 1 所示为 B^+ 注入区经不同激光功率退火后的 Raman 特征峰线形. 为便于看清，仅绘出五条谱线. 1.9W 的 LA 作用不明显，只在 480 cm^{-1} 处出现很弱的宽峰，与典型的 a-Si Raman 谱十分相似[2]. 随着激光功率增大，峰位向 C-Si 的标准模频 520.6cm^{-1} 移动；峰强增加；半宽变窄. Raman 谱三要素的这些变化均呈单调形式，在无序晶格向有序转变时，具有普遍性和典型性. 当功率达到或超过 3.6W，有两点值得注意：一是低波数处有一个越来越明显的下垂的"尾"，造成谱峰的不对称；二是峰位卡住在 519cm^{-1} 处，终不能达到 520.6cm^{-1} 的 C-Si 标准频移值.

图 2 是 Raman 峰强和薄层电阻随 LA 功率变化的对照. 在激光功率大于 3W 时，Raman 峰强突增，薄层电阻陡降，表明光散射的态密度和矩阵元，以及空穴浓度和迁移率在该时有突变性的增加. 对各样品低温迁移率的测量正进行中.

4.2W LA 后注入区和非注入区的 Raman 峰示于图 3，同时绘出 C-Si 峰作为参照·

可见注入与否，谱线有明显的不同，表现在峰位、峰强、半宽和线形对称性等各方面.

对以上实验结果，我们尝试作下述分析讨论：

(一) 先考虑图 3 中未注入区的 Raman 谱，这是在较高的 LA 功率 4.2W 下单纯经历一个晶化过程后进行测量得到的，其中没有重注 B^+LA 任何效应的影响. 我们看到其峰位 519.6cm^{-1} 与 C-Si 的 520.6cm^{-1} 有 $\Delta\omega_1 = 1\text{cm}^{-1}$ 的移动. 这属于相当典型的激光晶化后残留应力的效应[3]. 根据峰移，估算出残留张应力约 2.5×10^8Pa. 有参考价值的是我们曾对经饱和 LA 的注入样品进行 TEM 观察，得到晶粒尺寸约 $10 \times 40\,\mu$m[1]. 从 a-Si 晶化成数十微米的多晶，由于 SiO_2 衬底热胀系数不同、具体的 LA 和降温速率等因素的影响，导致上列数值的应力生成是可以理解的.

(二) 注入区的 Raman 谱，内含晶化和注入损伤消除、B^+ 进入 Si 格点等双重效应的影响. 在相同的 LA 功率下，注入区的有序化难以达到非注入区那样的程度(图 3)，表现在峰强、半宽和峰位等诸方面. 考虑到注入区的退火除降低结构无序度外，还担负降低组份无序度的任务，这一现象是自然的. 不过就注入区本身来说，随着 LA 功率增加，有序度改善，声子态密度和跃迁几率增大，空穴体系达到很高的浓度，都有效地使峰强、峰位和半宽逐步向 C-Si 过渡，并出现以低波数尾为特征的 Fano 不对称线形[4]. 然而，组份无序降低的限度，在峰位方面首先表现出来. 功率超过 3.6W，它始终停留在 519cm^{-1} (图 1)，低于非注入区的 519.6cm^{-1}. 这似乎是组份无序效应在 Raman 谱上显示出来的一个特点.

(三) 关于重掺 Si Raman 谱的 Fano 线形，近年又有一些研究工作[5]. 一般认为，产生 Fano 不对称谱形，需具备一定的条件：一是载流子的浓度足够高 (例如本文样品 $p \sim 5 \times 10^{19}\text{cm}^{-3}$)，费米能量落在准连续的电子能量区域，即电子(空穴)可实现带内的准连续激发，能距正与声子的能量相当；二是导带(价带)具有各向异性分支的复杂结构. 各向同性等离子体对载流子带内跃迁与声子的互作用会产生屏蔽[5]. 只有如 Si、Ge 这些具有多能谷导带和复杂扭曲面价带的半导体，电子(空穴)的带内激发才与布区中心光学声子形成强烈的耦合干涉而不受屏蔽. 经简化，Fano 的线形公式可表示为[6]：

$$I_q(\varepsilon) = \frac{(\varepsilon + q)^2}{\varepsilon^2 + 1} \tag{1}$$

其中 ε 为以线宽 Γ 为量度的无量纲频率变量：

$$\varepsilon = (\omega - \omega_0 - \Delta\omega)/\Gamma \tag{2}$$

取 C-Si 的一级 Raman 声子频率 $\omega_0 = 520.6\text{cm}^{-1}$，

$$\Delta\omega = \Delta\omega_1 + \Delta\omega_2 \tag{3}$$

设注入无序引起的频移 $\Delta\omega_2 \approx \Delta\omega_1 = 1\text{cm}^{-1}$，则 $\Delta\omega = 2\text{cm}^{-1}$. Fano 不对称参量 q 在空穴足够宽的准连续激发情况中近似为正的常数. 我们对图 3 中注入区 Raman 线形作了计算机最小二乘法迭代，得出 $\Gamma = 4.9\text{cm}^{-1}$，$q = 15$ 时最佳拟合用图中实线表示. 可见关于重掺半导体光散射的理论阐释，可用来描述我们的实验结果.

作者感谢复旦大学物理系戴乐山教授、谢荣、方子韦同志的指导和帮助.

参 考 文 献

[1] Xing Kunshan, Xu Xuemin, Lin Chenglu, Tan Songsheng, Tsou Shichang, Mat. Res. Soc. Proc., (1987).
[2] J. E. Smith, Jr., M. H. Brodsky, B. L. Crowder, M. I. Nathan and A. Pinczuk, *Phys. Rev. Lett.*, **26**, 642 (1971).
[3] 冷静民，钱佑华，林成鲁，方芳，物理学报，**36**，974(1987).
[4] F. Cerdeira, T. A. Fjeldly and M. Cardona, *Sol. State Commun.*, **13**, 325(1973).
[5] G. Contreras, A. K. Sood, M. Cardona and A. Compaan, *Sol. State Commun.*, **49**, 303(1984).
M. Chandrasekhar, U. Rossler and M. Cardona, *Phys. Rev.*, **B22**, 761(1980).
[6] F. Cerdeira, T. A. Fjeldy and M. Cardona, *Phys. Rev.*, **B8**, 4734(1973).

Raman Spectra of High-Dose Ion-Implanted and Laser-Annealed Silicon Films on SOM Structures

Qian Youhua Leng Jingmin
(Department of Physics, Fudan University, Shanghai)
Lin Chenglu and Xing Kunshan
(Ion Beam Laboratory, Shanghai Institute of Metallurgy, Academia Sinica, Shanghai)

Abstract

High-dose B^+ implanted silicon films on SOM structures, annealed with various laser powers have been measured by use of Raman spectroscopy. The effects of crystallization and impurity activation in the films might be observed unambiguously on the spectra. The SOMs with qualities required in the fabrication of pressure-sensitive devices can be achieved by laser annealing provided that certain kinds of critical condition are realized through the determination by Raman measurements. In order to distinguish the individual contribution from both crystallization and heavy doping to the Raman peak, two regions on the SOM sample were designed, differing from each other only at whether it was implanted. The dependence of Raman features on the laser power used in annealing, and the problem of Fano-type lineshape are discussed.

KEY WORDS: SOM, High-dose B^+ implantation, Stress induced, Fano lineshape