

用光声谱法研究硅单晶中 $^{31}\text{P}^+$ 离子注入

苏九令 包宗明 王昌平 陆桂华
(复旦大学)

倪 玫
(上海半导体器件研究所)

陈 肯 杨中柱 黄正义 吴树恩
(上海第三分析仪器厂)

1984年7月24日收到

本文报道用光声谱法在近红外波段研究硅单晶中 $^{31}\text{P}^+$ 离子注入效应,得到了注入剂量为 10^{12}cm^{-2} — 10^{15}cm^{-2} 范围内的光声信号幅值随注入剂量变化的关系.对于先经退火后进行离子注入的样品,其剂量低到 $5 \times 10^{11}\text{cm}^{-2}$ 的离子注入效应也能被检测到.在 1×10^{11} — $5 \times 10^{12}\text{cm}^{-2}$ 低剂量范围内,光声信号明显地随注入剂量而增加.因此,光声谱法是研究离子注入造成的晶格损伤的有效手段,有希望发展成为硅中离子注入剂量的无接触、快速、非破坏性的测量方法.

一、引 言

在现代集成电路工艺中,离子注入是一种重要的基本技术.用离子注入在半导体中实现精密掺杂的同时,又在半导体中造成晶格损伤.已有不少工作用背散射^[1]、光的反射和吸收^[2,3]、偏光技术^[4]等研究硅中离子注入造成的损伤,但是这些方法只能获得高注入剂量(大于 10^{13}cm^{-2})时的信息.近期有报道用 Nd:YAG 激光器(波长为 1060 nm)测量砷化镓中 Si^+ 离子注入样品的光声信号,得到低剂量(大于 10^{12}cm^{-2})情况下的信息^[5].本文报道用光声谱法在近红外波段研究硅单晶片中 $^{31}\text{P}^+$ 离子注入效应.

二、实验与结果

实验样品衬底为电阻率 $8\ \Omega\text{-cm}$ 的单面抛光 P-Si 单晶圆片,注 $^{31}\text{P}^+$ 能量分别为 60 keV 和 120 keV,注入剂量均为 1×10^{12} — $1 \times 10^{15}\text{cm}^{-2}$,注入后用金刚刀划成尺寸为 $8 \times 4 \times 0.36\text{mm}^3$ 的小片.实验装置为带微处理机控制的 6001 型光声谱仪.实验工作使用波段为 800—1600 nm.为观察离子注入效应,被测样品的光声谱均对同样电阻率和同样尺寸的未注入 P-Si 单晶片归一化.为提高光声信号信噪比,尽可能利用光源(1kW 氙灯)光能,单色器选择较宽的光缝(光缝缝宽 4mm,相应谱宽约 64 nm)和较低的光源调制频率(40Hz)以及较慢的波长扫描速度(50nm/min).

图 1 为测量得到的非晶硅(LPCVD 制备)的光声信号 S 对未注入 P-Si 衬底的光声信

号 R 的归一化光声谱。由图 1 的实验曲线可以看到,在大于 1100nm 的波长范围确实有一个谱峰。

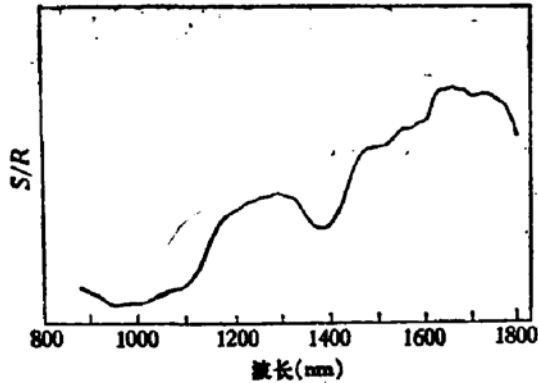


图 1 非晶硅对 P 型单晶硅的归一化光声谱

谱谱形与非晶硅的谱形逐渐相似,且谱峰高度随剂量的变化逐渐缓慢。

不同剂量的 $^{31}\text{P}^+$ 离子注入硅的光声信号 S 对未注入单晶硅片的光声信号 R 的归一化光声谱示于图 2。其中注入能量为 120 keV,注入剂量为 $1, 2, 5 \times 10^{12}, 1, 2, 5 \times 10^{13}, 1, 5 \times 10^{14}, 1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-2}$ 。从图 2 可以看到,当注入剂量较小时,离子注入硅的归一化光声谱在大于 1100 nm 波长范围内的谱峰高度随注入剂量增加而增加;当注入剂量增大时,其光声谱谱形与非晶硅的谱形逐渐相似,且谱峰高度随剂量的变化逐渐缓慢。

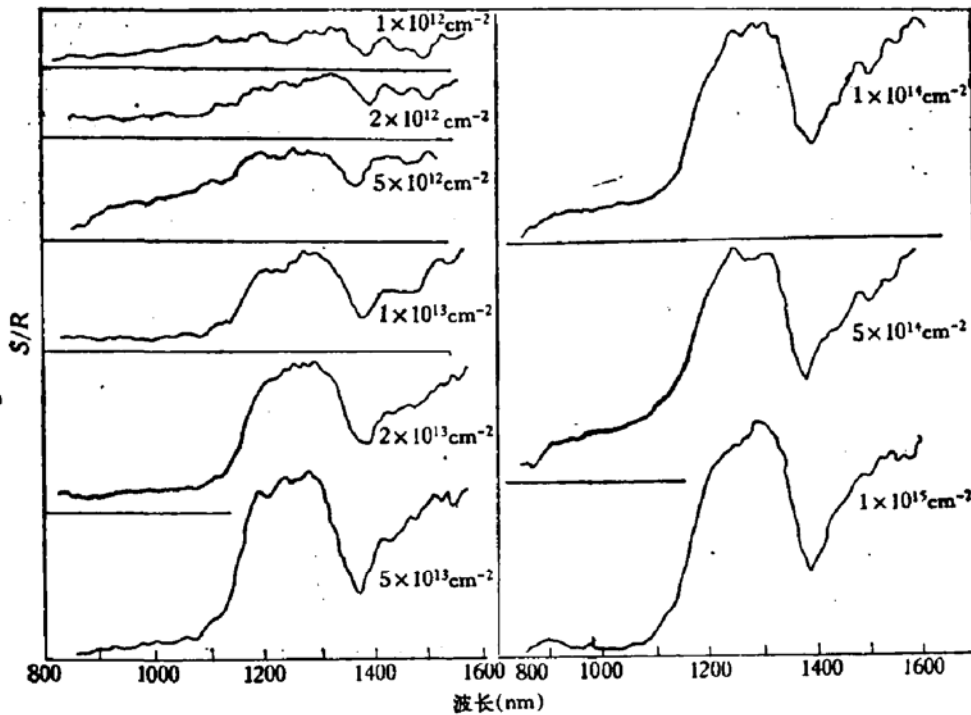


图 2 不同剂量 $^{31}\text{P}^+$ 离子注入硅的光声谱

由于离子注入硅的光声谱谱峰高度与样品吸收的光能总量有关,为消除样品尺寸和位置微小差异而引起样品吸收光能变化对谱峰高度的影响,可在样品本征吸收波长范围内选择某一工作波长时的光声信号幅值为基线。从非晶硅、多晶硅和单晶硅的光吸收系数随光子能量变化的关系^[7]可以知道,在波长为 900nm 附近,单晶硅和离子注入硅的光声信号差别不明显,故取波长为 900 nm 的归一化光声信号幅值 $\frac{S_0}{R}$ 为基线,并取波长为 1270 nm 的归一化光声信号幅值 $\frac{S}{R}$ 与 $\frac{S_0}{R}$ 之差 $\left(\frac{S}{R} - \frac{S_0}{R}\right)$ 为被测样品的离子注入效应信息,这样得到的归一化光声信号幅值 $\left(\frac{S}{R} - \frac{S_0}{R}\right)$ 与注入剂量 ϕ 的关系示于图 3。

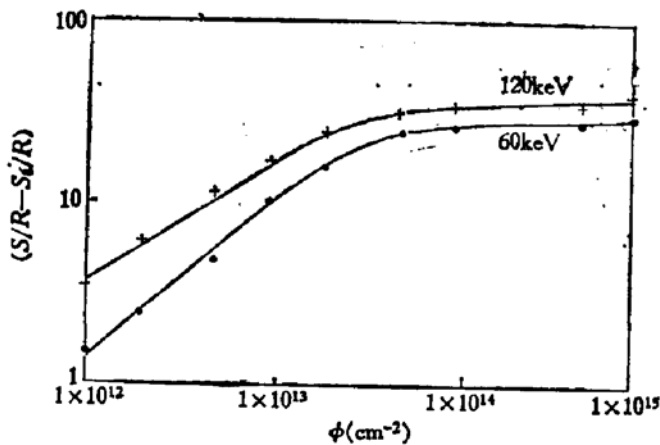


图3 波长为 1270nm 时光声信号幅值 $\left(\frac{S}{R} - \frac{S_0}{R}\right)$ 与注入剂量 ϕ 的关系

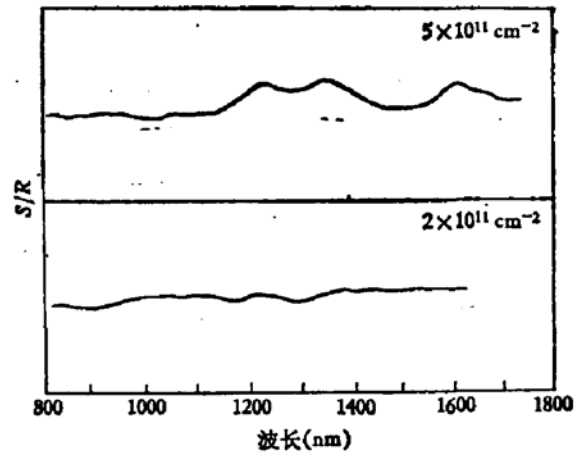


图4 600°C, N_2 气中退火30分钟后进行 $^{31}\text{P}^+$ 离子注入的硅片对未注入单晶硅片的归一化光声谱

注入剂量较大时,由于离子注入造成的晶格损伤会使样品反射率发生明显变化^[4],因而使透入样品的光能总量发生变化。在本工作测量范围内,根据 K. Nakamura 等人的工作,反射率变化小于 10%,因此,即使考虑到注入剂量增大引起样品表面反射率增大,对近红外波段光声谱谱峰随注入剂量的变化规律并不产生明显影响。

前面实验中的被测样品和用作参考的未注入 P-Si 衬底片均为单面抛光片,且经金刚刀划片,它应有一本底损伤,这本底损伤会干扰低剂量离子注入损伤的检测。把 P-Si 单晶片先经退火,后进行离子注入,即使注入剂量低到 $5 \times 10^{11} \text{ cm}^{-2}$ 的样品,其对经退火的未注入 P-Si 单晶片的归一化光声谱在近红外波段也观察到明显的谱峰,见图 4。

三、结 论

1. 由 $^{31}\text{P}^+$ 离子注入硅近红外波段光声谱谱峰与注入剂量的关系可以看到,在注入剂量为 $1 \times 10^{12} - 5 \times 10^{13} \text{ cm}^{-2}$ 范围内,光声谱谱峰高度随注入剂量明显增加,如样品先经退火消除研磨、划片等工艺造成的机械损伤,则注入剂量低到 $5 \times 10^{11} \text{ cm}^{-2}$ 时,其谱峰已能明显反映离子注入效应。因此,光声谱法是研究低剂量时硅中 $^{31}\text{P}^+$ 离子注入效应的有效手段。

2. 对于 $^{31}\text{P}^+$ 离子注入硅,在高剂量(大于 $5 \times 10^{13} \text{ cm}^{-2}$)时,其近红外波段的光声谱谱峰高度虽然随注入剂量变化缓慢,但是随着注入剂量增大,其光声谱谱形逐渐与非晶硅的谱形相似,在波长大于 1400 nm 后仍然有谱峰,因此,根据光声谱谱形可定性反映离子注入造成晶格损伤的程度。

3. 对于不同的注入能量,其近红外波段的光声谱谱峰随注入剂量的变化规律相似(见图 3),且注入能量愈大,在同样的注入剂量下,由于其损伤层较大,光声谱谱峰高度也更大。

综合上述,光声谱技术提供了一种无接触、快速、非破坏性的低剂量离子注入损伤的研究手段,为离子注入损伤机理的研究提供了一种有效的方法。另外,它也为集成电路工艺过程中离子注入剂量的测量提供了一种可行的途径。

参 考 文 献

- [1] J. W. Mayer, L. Eriksson, S. T. Picraux and J. A. Davies, *Can. J. Phys.*, **46**, 663 (1968).
[2] T. C. McGill, S. L. Kurtin and G. A. Shifrin, *J. Appl. Phys.*, **41**, 246 (1970).
[3] B. L. Crowder, R. S. Title, M. H. Brodsky and G. D. Pettit, *Appl. Phys. Lett.*, **16**, 205 (1970).
[4] K. Nakamura, T. Gotoh and M. Kamoshida, *J. Appl. Phys.*, **50**, 3985 (1979).
[5] R. A. McFarlane and L. D. Hess, *Appl. Phys. Lett.*, **36**, 137 (1980).

**Study of $^{31}\text{P}^+$ -Implanted Si
Layers with Photoacoustic Spectroscopy**

Su Jiuling, Bao Zongming, Wang Changping, Lu Guihua
(Fudan University)

Ni Mei
(Shanghai Institute of Semiconductor Devices)

Chen Ken, Yang Zhongzhu, Huang Zhengyi and Wu Shuen
(Shanghai No. 3 Analytic Instrument Factory)

Abstract

The effect on $^{31}\text{P}^+$ -implanted Si layers with photoacoustic spectroscopy in near-infrared wavelength range is reported. The correlations between the amplitude of photoacoustic signal and the implanted dose at levels from 1×10^{18} to $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-2}$ are obtained and the information at implanted dose level as low as $5 \times 10^{11} \text{ cm}^{-2}$ is also effectively detected. The photoacoustic signal increases significantly with the implanted dose at lower levels (1×10^{18} to $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-2}$). Therefore, the photoacoustic spectroscopy is an effective method for studying damaged layers induced by ion implantation. On the other hand, it is considered that photoacoustic techniques have the prospect of becoming a noncontact, rapid and nondestructive method for measuring implanted dose in silicon even at low dose levels.