

剥层椭偏光谱法测定 As^+ 注入 Si 的损伤分布

洪 英 莫 党

(中山大学物理系)

1985年8月12日收到

本文用椭偏光谱测量与阳极氧化剥层相结合的方法,测量了注入能量 150keV、注入剂量在 10^{13} — 10^{16} cm⁻² 范围内的 As^+ 注入 Si 损伤层的光学性质,得到了光学常数 n 、 k 在损伤层内的分布,并用有效介质理论计算出损伤分布。所得损伤分布与损伤理论进行了比较,两者基本一致。

一、引 言

近十多年来,应用椭偏测量来研究离子注入损伤层的工作越来越多。1981年以前的椭偏测量都是在单波长(5461Å或6328Å)下进行,且主要根据消光系数 k 的变化来确定损伤度,没有给出损伤度随深度的具体分布^[1-7]。1981年后有些关于离子注入损伤层的椭偏光谱方面的工作^[8-10],但均没有做剥层测量,大多也没有正面研究具体的损伤分布。本工作是将椭偏光谱与剥层相结合、同时在原理上用复数光学常数来确定损伤度的首次尝试,以探索不同波长下定出的损伤度是否一致、在何波长范围内测量损伤度更有利、用复数光学常数来确定损伤度是否适宜等问题。

二、实验条件与结果

实验样品是P型〈100〉Si片,电阻率为6—8Ω·cm,注入 As^+ 的能量为150KeV、剂量范围是 10^{13} — 10^{16} cm⁻², 偏离〈100〉晶向小角注入。用TPP-1型椭偏谱仪测量椭偏谱,TP-77型椭偏测厚仪测氧化层厚度,分别测量了剂量为 6×10^{13} 、 1.4×10^{14} 、 2×10^{14} 、 6×10^{14} 和 2×10^{15} cm⁻² 五个样品。计算公式见[11]。

用阳极氧化法剥层,乙二醇:磷酸二 10:1 为电解液,电流密度固定在 3—5mA·cm⁻² 之间的某值,阳极氧化层的折射率取 1.46。实验步骤如下:进行表面处理之后,马上测自然氧化层厚度;接着测椭偏谱;然后进行阳极氧化;测阳极氧化生成的 SiO₂ 层厚度,并换算成 Si 厚度;去掉 SiO₂ 层,重复以上步骤。对测得的椭偏参数 ψ 、 Δ 值,先算出对应的表观折射率及消光系数 \tilde{n}_E 、 \tilde{k}_E 值,等一个样品全部测完之后,再扣除自然氧化层的影响。这里取平均值 $d = 12 \text{Å}$ 、 $n = 1.5$,用等效衬底模型和牛顿阻尼法迭代,算出不同波长下的真实折射率及消光系数 n 、 k 随剥层深度的分布。

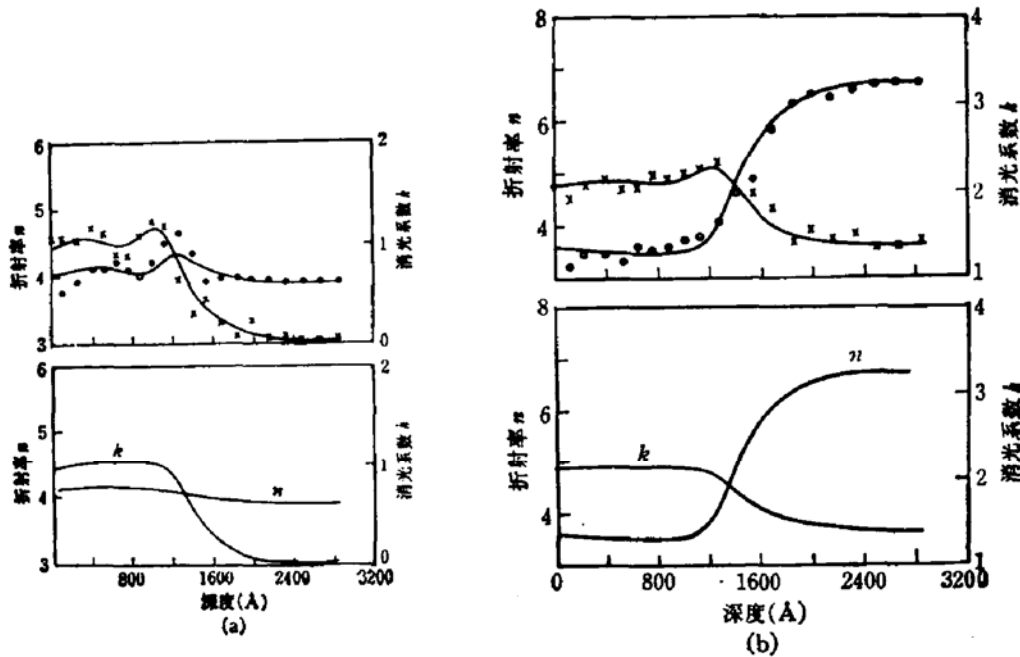


图 1 $2 \times 10^{15}/\text{cm}^2 \text{As}^+$ 注入 Si 样品损伤层内的 n, k 值随深度分布
 下图为计算得到的真实 n, k 值分布, 上图曲线为相应的表观 \tilde{n}_E, \tilde{k}_E 值分布, 点为实验点
 图 1(a) 波长 6100 \AA , \circ — \tilde{n}_E , \times — \tilde{k}_E , 图 1(b) 波长 3750 \AA , \circ — n , \times — k .

每一样品, 测量和计算了 $2900 \sim 6100 \text{ \AA}$ 波长范围内 14 个波长下的 n, k 值分布. 图 1 中只给出注入剂量为 $2 \times 10^{15} \text{ cm}^{-2}$ 样品在 3750 \AA 和 6100 \AA 两个波长下的结果作为示例. 图中下图为计算得到的真实 n, k 值分布, 上图曲线为相应的表观 \tilde{n}_E, \tilde{k}_E 值分布, 点为实测表观 \tilde{n}_E, \tilde{k}_E 值分布.

从图 1 中可看到: 长波下表观值呈振荡分布, 这是因为此时消光系数 k 值较小、干涉效应明显所致; 中间波长范围内 ($3600 \sim 5000 \text{ \AA}$) 表观 \tilde{n}_E, \tilde{k}_E 值分布近似等于真实 n, k 值分布, 这点很有实用价值, 可直接计算得到近似的损伤分布; 波长更短区域则仪器灵敏度有所下降. 其它样品结果相同.

从图 1 中还可看到, 表面处的实验点与计算值符合不好, 而且剂量越高越明显, 可认为损伤区域中还有一特殊的表面层.

三、损伤分布的计算与讨论

若将离子注入损伤层近似看成是损伤产生的非晶硅 a-Si 与未损伤的单晶硅 c-Si 的混合, 且定义 a-Si 所占的体积比 x 为损伤度 (DD), 则可利用有效介质公式^[12]:

$$x \frac{\epsilon_a - \epsilon}{\epsilon_a + 2\epsilon} + (1 - x) \frac{\epsilon_c - \epsilon}{\epsilon_c + 2\epsilon} = 0 \tag{1}$$

以及介电常数实部及虚部 ϵ_1, ϵ_2 与 n, k 之间的关系:

$$\epsilon_1 = n^2 - k^2, \quad \epsilon_2 = 2nk \tag{2}$$

从图 1 中的真实 n, k 值分布计算出损伤度 DD 的分布. 式 (1) 中的 ϵ_a, ϵ_c 和 ϵ 分别是

a-Si、c-Si 和实测样品的介电常数。相应地以 $(n_s - ik_s)$ 和 $(n_c - ik_c)$ 表示 a-Si 和 c-Si 的复数折射率。

计算所用的 n_c 、 k_c 值取自文献 [13], n_s 、 k_s 值从实验样品中取。在选取 n_s 、 k_s 值的过程中,发现超过临界剂量 $2 \times 10^{14} \text{cm}^{-2}$ 注入的样品,不同剂量注入损伤造成的 n_s 、 k_s 值不同。分析认为,主要是 a-Si 中有空洞存在。设空洞体积比为 x , 用有效介质公式 (1) 进行了计算。为简单起见,计算中设空洞最少的 $2 \times 10^{14} \text{cm}^{-2}$ 样品是完整 a-Si, 可算出样品 $2 \times 10^{15} \text{cm}^{-2}$ 和 $6 \times 10^{14} \text{cm}^{-2}$ 的空洞体积比分别为 8.9% 和 6.2%, 列于表 1 中。

表 1 不同注入剂量 a-Si 中的空洞体积比

注入剂量 (cm^{-2})	空洞体积百分比
2×10^{14}	0(假定)
6×10^{14}	6.2
2×10^{15}	8.9

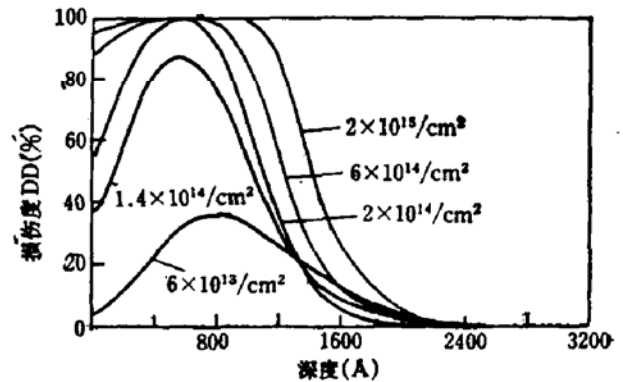


图 2 不同注入剂量下损伤度随深度的分布

从我们偏偏测量结果及式 (1)、(2) 计算得到的损伤度分布如图 2 所示,不同波长测量可得基本一致的损伤度分布。对注入能量为 150 keV 的 As^+ 注入,理论计算的射程值 R_p 为 $\sim 840 \text{Å}$, 理论损伤峰值为 $\sim (2/3)R_p$ [14]。从图 2 可看到,损伤峰值位置约在 600Å 即 0.71 处,可见与理论计算基本一致。只是样品 $6 \times 10^{13} \text{cm}^{-2}$ 的峰值位置更靠内部、在约 800Å 处,可能是有部分沟道效应所致,具体原因有待进一步探讨。

从图 2 还可看出,样品 $2 \times 10^{15} \text{cm}^{-2}$ 的损伤层厚度为 1120Å , 这与莫党以前的工作结果 [5,6] 很一致。

本工作得到中国科学院科学基金资助。作者还感谢清华大学微电子学研究所提供了注入 Si 样品。

参 考 文 献

- [1] J. R. Adams and N. M. Bashara, *Surf. Sci.*, **49**, 441 (1975).
- [2] K. Watanabe, M. Miyao, I. Takemoto and N. Heshimoto, *Appl. Phys. Lett.*, **34**, 518 (1979).
- [3] 莫党、卢因诚、李旦辉、刘尚合、卢武星, *半导体学报*, **1** 198(1980).
- [4] 陈敏麒、罗晋生, *西安交通大学学报*, **15**, 107(1981).
- [5] 钱佑华、陈良尧、张继昌, *半导体学报*, **3**, 76(1982).
- [6] F. Ohira and M. Itakura, *Jpn. J. Appl. Phys.*, **21**, 42 (1982).
- [7] Q. Kim and Y. Y. Park, *J. Appl. Phys.*, **51**, 2024 (1980).
- [8] 莫党、叶贤京, *物理学报*, **30**, 1287(1981).
- [9] J. P. Cortot, *Appl. Phys. Lett.*, **41**, 93 (1982).
- [10] 林树汉、莫党 *半导体学报*, **3**, 410(1982).
- [11] 莫党、陈树光、余玉贞、黄炳忠, *物理学报*, **29**, 673(1980).
- [12] I. Webman, J. Jortner and M. H. Cohen, *Phys. Rev.*, **B 15**, 5712 (1977).
- [13] D. E. Aspnes and A. A. Studna, *Phys. Rev.*, **B 27**, 985 (1983).
- [14] D. K. Brice, *J. Appl. Phys.*, **46**, 3385 (1975).

Determination of the Damage Profiles in As⁺ Implanted Si by Spectroscopic Ellipsometry Combined with Anodization-Stripping

Hong Ying and Mo Dang

(Department of Physics, Zhongshan University)

Abstract

The optical properties of As⁺ implanted Si layer have been measured by the spectroscopic ellipsometry combined with anodization-stripping. The refractive index n and the extinction coefficient k profiles have been obtained for samples with implantation energy of 150 keV and doses of 6×10^{13} , 1.4×10^{14} , 2×10^{14} , 6×10^{14} and 2×10^{15} ions/cm². The damage profiles have also been calculated by an effective medium theory from data of n , k profiles, and are in good agreement with those predicted by Brice's damage theory. Experimental results show that there exist voids in the amorphous silicon formed by ion implantation, and there exists a special surface layer in the implanted region. It is found that the pseudo optical constant \tilde{n} and \tilde{k} profiles show oscillating at longer wavelength region and are approximately equal to the real n , k profiles at shorter or middle (3600—5000 Å) region which is preferable for practical measurement.