

·研究简报·

高能电子辐照导致氢化非晶硅的微晶化

钟雨乐 黄君凯 刘伟平

(暨南大学电子工程系 广州 510632)

李京娜

(烟台师范学院物理系 烟台 264000)

摘要 氢化非晶硅(a-Si:H)是无序硅网络中嵌入一定量 H 原子的非晶态硅—氢合金膜,结构上存在许多不稳定的弱 Si—Si 键及各种畸变键,在光、电老化过程中,它们会断裂或变形,导致缺陷态的增加,使材料性能变坏。a-Si:H 微晶化后,这些缺点将得到有效的克服。结果发现,用 0.3—0.5 MeV、注入束流密度 $1.3 \times 10^{19} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ 的高能电子辐照 10—600s, a-Si:H 膜会出现微晶化现象,晶粒大小为 10—20nm,晶化层厚度为 25—250nm。

关键词 高能电子辐照,非晶硅,微晶化

中图分类号 O471.4, TL99

氢化非晶硅(a-Si:H)是重要半导体材料之一,已广泛应用于器件制造,如太阳电池、光传感器、发光管、大面积液晶平面显示等。a-Si:H 是无序硅网络中嵌入一定量 H 原子的非晶硅—氢合金膜。结构上存在许多硅悬挂键、不稳定的弱 Si—Si 键及其他畸变键,它们是缺陷态和复合中心的主要来源。另外,在光、电老化过程中,不稳定的键会变形或断裂,使缺陷态增加或改变复合中心的带电状态,造成 a-Si:H 器件性能不稳定和衰变。例如,室温下经 $0.2 \text{ W} \cdot \text{cm}^{-2}$ 光照 4h 后, a-Si:H 膜暗光电导由 $10^{-6} (\Omega \text{ cm})^{-1}$ 下降到 $10^{-10} (\Omega \text{ cm})^{-1}$; a-Si:H 太阳电池在室外工作 1 年后,输出功率衰减 10%—30%。a-Si:H 微晶化后,这些缺点将得到有效的克服。

对单晶硅来说,各种粒子辐射会破坏其整齐的晶体结构,导致缺陷态或复合中心的增加,使大多数单晶硅器件性能变坏甚至失效。人们花很大的力气去研究提高单晶硅器件的抗辐射能力^[1]。辐射对非晶材料来说却有很大的不同,比如,在大能量、大注入量的电子辐照下,非晶无序网络局部区域会重新排列而微晶化^[2,3]。当然,辐照也会引入新的缺陷态或者复合中心,但对本来就存在大量缺陷态和复合中心的非晶材料,其相对变化量就不大了。因此, a-Si:H 的大能量、大注入量电子辐照主效应是非晶硅的微晶化及不稳定键的破裂。我们相信,这对改善 a-Si:H 材料的性能会有好处。对此,我们进行了一系列的试验,本工作是其中的一部分。

1 样品和辐照

用辉光放电法在 P 型单晶硅片上淀积 a-Si:H,膜厚约 1 μm 。淀积条件:SiH₄ 气压 1.3 $\times 10^2 \text{ Pa}$,流量 30mL/min,射频功率 20W,衬底温度 300 $^{\circ}\text{C}$ 。

国务院侨办重点学科科学基金项目(020930)资助

第一作者:钟雨乐,男,1941 年生,1964 年毕业于西安交通大学应用物理专业,电子工程系教授

收稿日期:初稿 2000—06—22, 修回 2000—10—23

辐照在深圳科技园长葆特种材料公司的电子加速器上完成。电子束能量 0.3—0.5MeV, 注入束流密度为 $1.3\times10^{19}\text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$, 用改变注入时间控制辐照注入量。

2 实验结果

我们曾对电子辐照 a-Si:H 膜进行过模拟计算, 当能量大于 1.0MeV 后, 1μm 厚 a-Si:H 膜对电子束能量的吸收将迅速减少^[4,5]。也就是说, 对于 1μm 厚的 a-Si:H 膜不宜用大于 1.0MeV 的电子束辐照, 那样只会白白浪费电子束的能量。我们选择 0.3、0.4、0.5MeV 3 种能量作辐照试验。

为了直接检验电子辐照对 a-Si:H 的微晶化效应, 我们首先对辐射前后 a-Si:H 样品进行了电子衍射试验。图 1a 是辐照前的电子衍射照相, 同心圆环的衍射花样证实样品是非晶结构。图 1b 是样品经能量为 0.5MeV, 注入量为 $1.3\times10^{20}\text{ecm}^{-2}$ 的电子辐照后的电子衍射照相, 规则的斑照分布衍射花样与单晶硅(110)晶面的衍射花样相似, 这表明样品确实已微晶化。

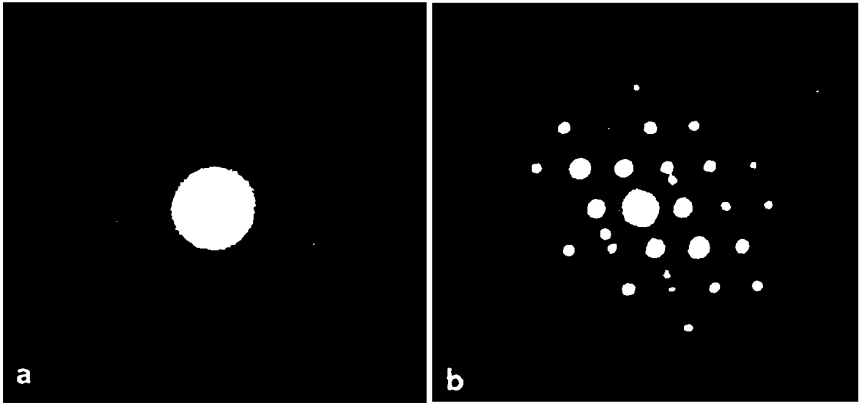


Fig.1 Electron diffraction pattern,
a. Before irradiation, b. After irradiation, $1.3\times10^{20}\text{cm}^{-2}$

图 2 给出了制作工艺相同的 a-Si:H 膜辐照前后的 X 射线衍射谱, 辐照前是曲线 1, 无明显衍射峰, 只有非晶谷包; 曲线 2 是辐照后, 已微晶化区域的 X 射线衍射谱, 辐射条件是: 电子能量 0.5MeV, 电子注入量是 $1.3\times10^{20}\text{cm}^{-2}$, 已无明显非晶谷包, 在 $2\theta=29^\circ$ 处出现衍射峰, 这是对单晶硅(111)晶面的衍射, 表明 a-Si:H 已经发生晶化。微晶粒平均大小, 根据衍射峰的半宽度, 利用 Debye-Scherrer 公式估算为 10nm 左右。

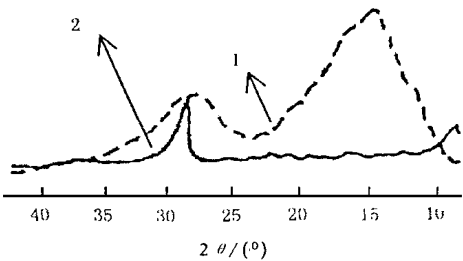


Fig.2 Responses of X ray diffraction before and after irradiation a-Si:H
1. Curve before irradiated, 2. Curve after irradiation

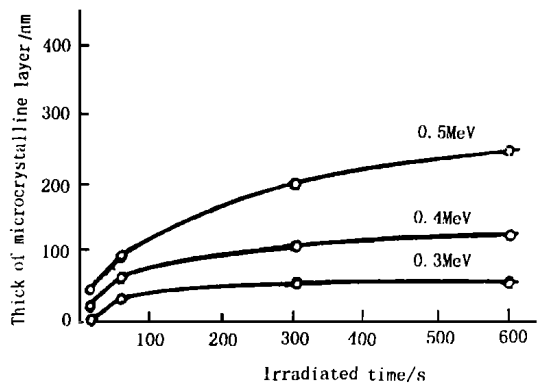


Fig.3 Relation between thick of microcrystalline layer and irradiated time

表 1 是同一批样品,用不同能量、不同辐照时间辐照后 a-Si:H 微晶化的不同情况。由表 1 可见,0.3—0.5MeV、辐照时间 10—600s,晶粒大小均在 10—20nm 之间,能量和辐照时间对晶粒大小的影响似乎不甚大。利用氩离子溅射剥层技术和电子显微镜观测,发现微晶化过程首先出现在 a-Si:H 与单晶硅界面上。当辐照时间大于 300s 后,在 a-Si:H 膜内部区域也出现微晶化现象。图 3 是不同电子能量下,微晶化层厚度与辐照时间的关系。当辐照大于 300s 后,微晶化层厚度随辐照时间增加而增大的变化会缓慢下来,这可能与 a-Si:H 内部区域开始微晶化有关。

Tab.1 Results of different irradiated density of electronic beam= $1.3\times 10^{19}\text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$

	Electronic energy/MeV											
	0.3				0.4				0.5			
Irradiated time/s	2	10	60	600	2	10	60	600	2	10	60	600
Size of grain/nm	0	0	10	15	0	10	15	20	0	10	15	20
Tick of microcrystalline laqer/nm	0	0	25	45	0	35	60	120	0	40	95	250

3 结 论

用能量 0.3—0.5MeV、束流密度 $1.3\times 10^{19}\text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ 的电子束辐照 a-Si:H 膜,辐照的时间为 10—600s,将出现 a-Si:H 的微晶化现象,晶粒大小为 10—20nm,电子能量和辐照时间对晶粒大小影响不甚大,但晶化层厚度却与电子能量和辐照时间有关。上述微晶化现象的微观动力学机理有待进一步研究。

参 考 文 献

1 CAO J Z. Irradiated Effect of Semiconductor Materials. Beijing: Science Press House, 1993

2 NING Y, Kurt E, Sickafus, Michael Nastasi. Mater Chem Phys, 1996, **46**, 161—172

3 ZHOU W. J Supercond, 1996, **13**(9), 311—320

4 张春[✉], 吴克勇, 胡翠英. 计算机物理, 1999, **16**(2), 183—194

ZHANG C L, WU K Z, HU C Y. Mathem Phys, 1999, **16**(2), 183—194

5 胡翠英, 钟雨乐, 张春[✉]. 半导体技术, 1999, **24**(4), 36—40

HU C Y, ZHONG Y L, ZHANG L. Semicond Technol, 1999, **24**(4), 36—40

(C)1994-2025 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www

IRRADIATION OF ELECTRON WITH HIGH ENERGY INDUCED MICROCRYSTALLIZATION OF AMORPHOUS SILICON

ZHONG Yule HUANG Junkai LIU Weiping

(*Department of Electronic Engineering, Jinan University Guangzhou 510632*)

LI Jingna

(*Department of Physics, Teachers College of Yantai Yantai 264000*)

ABSTRACT Amorphous silicon is amorphous alloy of Si—H. It is random network of silicon with some hydrogen. And its structure has many unstable bonds as weak bonds of Si—Si and distortion bonds of all kinds. The bonds was broken or was out of shape by light and electrical ageing. It induced increase of defective state that causes character of material going to bad. This drawback will be overcome after microcrystallization of amorphous silicon. It was discovered that a—Si:H was microcrystallized by irradiated of electrons with energy of 0.3—0.5MeV, density of electronic beam of $1.3 \times 10^{19} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ and irradiated time of 10—600s. Size of grain is 10—20nm. Thick of microcrystalline layer is 25—250nm.

KEYWORDS Irradiation of electron with high energy, Amorphous silicon, Microcrystallization

CLC 471.4, TL99