

电子辐照微氮直拉硅单晶的 深能级的研究*

丁扣宝 张秀森 石国华

(杭州大学电子工程系 杭州 310028)

孙 勤 生

(南京大学物理学系 南京 210008)

施 建 青

(浙江技术物理应用研究所 杭州 310012)

摘要 本文研究了电子辐照在氮保护气氛中生长的直拉硅单晶中引入的深能级。没有发现可检测的与氮有关的深能级。

关键词 电子辐照, 微氮直拉硅单晶, 深能级

1 引言

电子辐照能在半导体硅材料中引入深能级, 从而改变其少数载流子寿命。这一技术已成为硅器件生产中一种控制工艺的重要手段。与普通的掺杂工艺相比, 电子辐照可在室温下进行, 不会改变器件的纵向参数, 并具有工艺重复性好、辐照效果均匀、成本低和成品率高等优点。

对硅材料的电子辐照的研究已有报道^[1,2]。最近, 以纯氮作为保护气氛生长的含微量氮的直拉硅单晶材料^[3]已在器件生产中得到较广泛的使用, 但对这种微氮直拉硅单晶材料电子辐照的深能级的研究尚未见到。本文报道我们在这方面所做工作的一些结果。

2 电子辐照引入深能级的机理

一般认为, 电子辐照硅材料最主要的辐照效应是原子位移效应。高能电子辐照晶体时, 在晶体内部发生电子和晶体原子的碰撞, 电子的能量转移给晶格原子。当晶格原子接受的能量达到某一临界值时, 它们将离开晶格位置, 产生点缺陷, 从而在晶体中引入深能级。

1993-12-03 收到, 1994-05-03 定稿

* 高纯硅国家重点实验室基金资助项目

丁扣宝 男, 1965年生, 硕士, 现从事半导体物理、硅材料分析、微电子器件 CAA & CAD 的教学与研究
工作。

张秀森 男, 1938年生, 教授, 中国电子学会高级会员, 现主要从事半导体的杂质与缺陷、半导体表面与界面、太阳能电池等领域的研究与教学。

石国华 男, 1963年生, 工程师, 从事半导体器件的研究。

3 实验

采用氮气保护气氛技术生长的直拉硅单晶作为研究样品。利用傅里叶红外光谱仪进行红外测量,测得氮的浓度约为 $1.5 \times 10^{15} \text{cm}^{-3}$, 红外测直拉硅单晶中的氮的灵敏度约为 $5 \times 10^{14} \text{cm}^{-3}$ 。同时采用惰性气体氩作保护气氛技术生长的直拉硅单晶作为对照,在这种材料中不含氮。为便于进行深能级瞬态谱 (DLTS)^[4] 分析,样品按常规工艺制成 p^+n 二极管,其中 n 区施主杂质为磷,浓度为 $0.3 \times 10^{15} \text{cm}^{-3}$ 。

将微氮硅单晶制成的二极管分成两组,编号为 1#, 2#, 不含微氮的硅单晶制成的二极管也分成两组,编号为 3#, 4#。对 1#, 3# 二极管进行电子辐照。

电子辐照系采用 JJ-2 型静电加速器进行,出射的电子束能量为 1.8 MeV, 辐照剂量为 $4 \times 10^{15} \text{e}/\text{cm}^2$ 。对以上四组样品进行了 DLTS 测试。

4 测试结果和分析

1#, 3# 样品的 DLTS 谱分别如图 1, 图 2 所示。二者均有四个明显的可检测的谱峰,表明经过电子辐照的 1#, 3# 样品中存在四个深能级,其能级位置和密度如表 1, 表 2 所示。

根据已有的研究结果,能级 $E_1(E_c - 0.16 \text{eV})$, $E_2(E_c - 0.23 \text{eV})$, $E_3(E_c - 0.35 \text{eV})$ 和 $E_4(E_c - 0.49 \text{eV})$ 分别是由氧-空位 (O-V) 复合体^[5], 双空位 (V-V)^[6] 复合体 (负二价)^[7]、双空位 (V-V)⁻ 复合体 (负一价)^[8] 和磷-空位 (P-V) 复合体^[9] 形成的。

由于在 2#, 4# 样品的 DLTS 谱中未发现可检测的谱峰,表明在电子辐照前在含微氮和不含氮的样品中均不存在可检测的深能级。这说明在 1#, 3# 样品中存在的四个深能级是由电子辐照引发的。

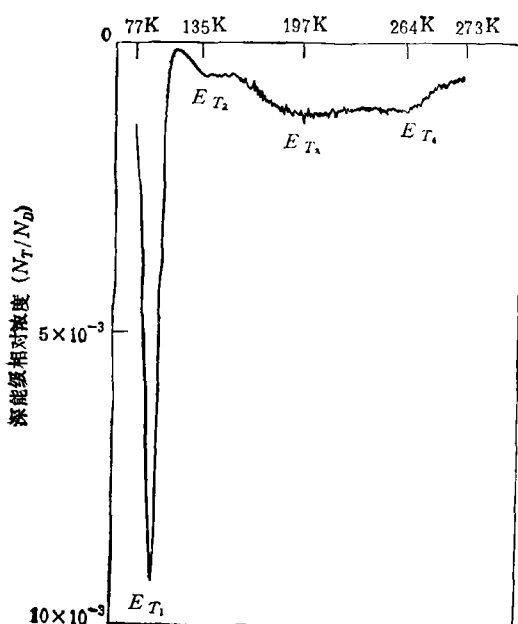


图 1 电子辐照微氮硅单晶 p^+n 二极管的 DLTS 图(1#样品)

(发射时间 $\tau_m = 1 \text{ms}$, 偏压 $V_R = 15 \text{V}$)

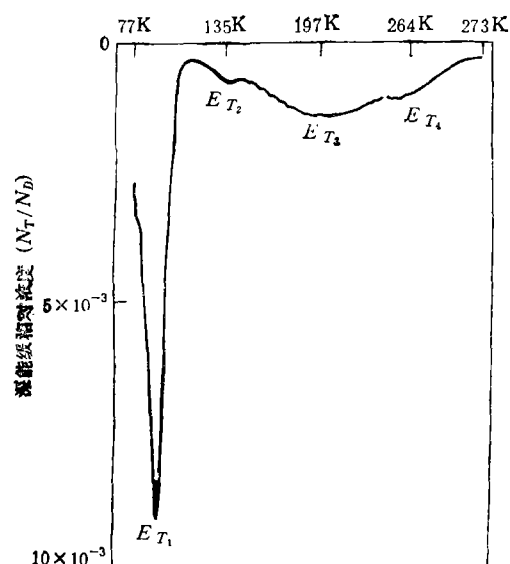


图 2 电子辐照 p^+n 二极管(不含氮)的 DLTS 图(3#样品)

(发射时间 $\tau_m = 1 \text{ms}$, 偏压 $V_R = 15 \text{V}$)

比较图 1 与图 2, 可以发现, 在含微量氮的 1[#] 样品中还存在着一些极其微弱的 DLTS 谱峰, 但这些谱峰的信号太弱, 无法测量。

1[#], 3[#] 样品中存在的深能级位置相同, 且这些深能级的形成均与氮无关, 说明在电子辐照的微氮硅单晶中不存在可检测的与氮有关的深能级。

表 1 1[#] 样品深能级位置和密度

能 级	E_1	E_2	E_3	E_4
位置 (eV)	$E_c - 0.16$	$E_c - 0.23$	$E_c - 0.35$	$E_c - 0.49$
密度 (cm^{-3})	2.772×10^{12}	1.631×10^{11}	3.913×10^{11}	4.424×10^{11}

表 2 3[#] 样品深能级位置和密度

能 级	E_1	E_2	E_3	E_4
位置 (eV)	$E_c - 0.16$	$E_c - 0.23$	$E_c - 0.35$	$E_c - 0.49$
密度 (cm^{-3})	2.709×10^{12}	2.182×10^{11}	4.364×10^{11}	3.091×10^{11}

表 1, 表 2 显示, 1[#], 3[#] 样品中相同位置的深能级的密度有所不同, 这可能与氮的存在有关。有关这一点, 还需作进一步的证实。

5 结 论

电子辐照在氮保护气氛中生长的硅单晶制成的 p^+n 二极管中引入了四个深能级, 它们分别为: 能级 $E_1(E_c - 0.16\text{eV})$, 能级 $E_2(E_c - 0.23\text{eV})$, 能级 $E_3(E_c - 0.35\text{eV})$ 和能级 $E_4(E_c - 0.49\text{eV})$ 。但没有发现可检测的与氮有关的深能级。

参 考 文 献

- [1] Ewvarage A O, Baliga B J. J. Electrochem. Soc., 1977, 124(6): 913—916.
- [2] Brotherton S D, Bradley P. J. Appl. Phys., 1982, 53(8): 5720—5731.
- [3] 阙端麟, 李立本, 林玉瓶. 中国专利, CN8500295, 1985.
- [4] Lang D V. J. Appl. Phys., 1974, 45(7): 3014—3022.
- [5] Watkins G D, Corbett J W, Walker R M. J. Appl. Phys., 1959, 30(8): 1198—1203.

STUDY OF THE DEEP LEVELS IN ELECTRON IRRADIATED CZ-SI SLIGHTLY DOPED WITH NITROGEN

Ding Koubao Zhang Xiumiao Shi Guohua

Sun Qinsheng

(Hangzhou University, Hangzhou 310028)

(Nanjing University, Nanjing 210008)

Shi Jianqing

(Applied Technical Physics Institute of Zhejiang Province, Hangzhou 310012)

Abstract The deep levels in electron irradiated CZ silicon single crystal grown in pure nitrogen protective atmosphere has been studied. It is pointed out that there is no measurable deep level related to nitrogen.

Key words Electron irradiation, Slightly N-doped silicon, Deep level