

研究简报

冷发射电子束掺杂磷*

李秀琼 王培大** 马祥彬 王 纯

(中国科学院微电子中心, 北京 650 信箱, 100010)

1990年2月8日收到

一种新的冷发射电子束掺杂方法已研究成功。这种方法可实现高浓度 ($C_{max} = 2.8 \times 10^{20}/\text{cm}^3$), 超浅结 [$(x_j)_{min} \leq 0.1 \mu\text{m}$], 而且损伤比离子注入的小得多。用这种方法制备的太阳能电池控制器件性能很好。

关键词 冷发射电子束、掺杂、超浅结

一、引 言

随着集成电路的发展, 要求不断地按比例缩小其器件的尺寸, 其中包括纵向的掺杂深度。在 VLSI 中要求结深小于 $0.1 \mu\text{m}$ 。扩散法要达到结浅, 浓度往往达不到要求; 离子注入加瞬态退火方法能很好地解决浓度和陡度的要求, 但损伤不能完全消除, 而且在超浅结时杂质浓度重新再分布的问题又显很突出。

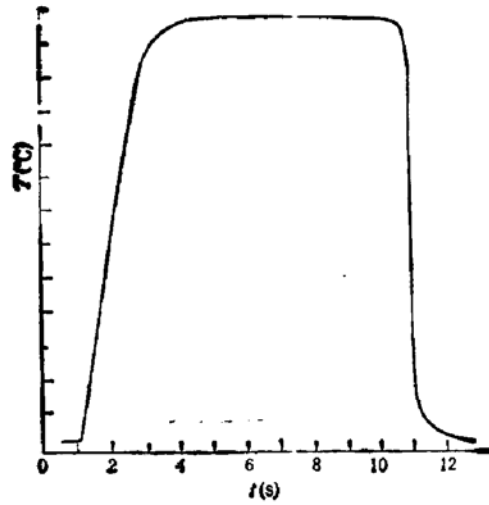
在过去的几年里, 我们研究了一种新的用电子束实现半导体掺杂的方法^[1-3], 它能很好地解决扩散法和离子注入法所遇到的问题。这种方法是用电子束辐照涂敷在半导体表面的源层, 具有电压高、掺杂温度低、时间短的优点。但所用设备的电子枪结构庞大、造价昂贵、难于变成实用的半导体加工设备。在那儿电子束产生的方法是热发射式的。本文介绍一个冷发射电子束产生系统。用这种设备能达到高浓度、超浅结的掺杂效果。

二、实 验

为了改进和完善电子束掺杂, 我们自己研制一台冷发射电子束产生设备。这台设备的温升 (T) 和掺杂时间 (t) 的关系曲线如图 1 所示。这种电子束的特点是面积大、均匀性好, 克服了热发射式电子束必须扫描的缺点, 能更好地满足半导体生产的要求。尤其是该系统造价低廉, 为电子束掺杂技术实际应用展示出美好的前景。

* 国家自然科学基金资助课题。

** 中国科学院半导体研究所。

图1 冷发射电子束的 $T(^{\circ}\text{C})-t$ (秒)曲线

三、实验结果

1. 掺杂效应

(1) 辐照次数与结深关系不大。图2表明辐照二十次结深增加 $0.2\mu\text{m}$, 每次仅为 100\AA 左右。

(2) 一次辐照时间越长、结越深。

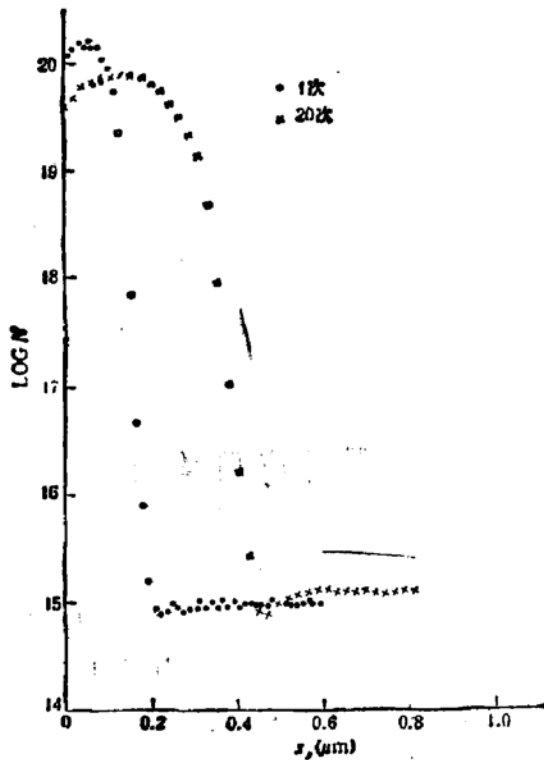


图2 电子束辐照二十次后杂质浓度再分布情况

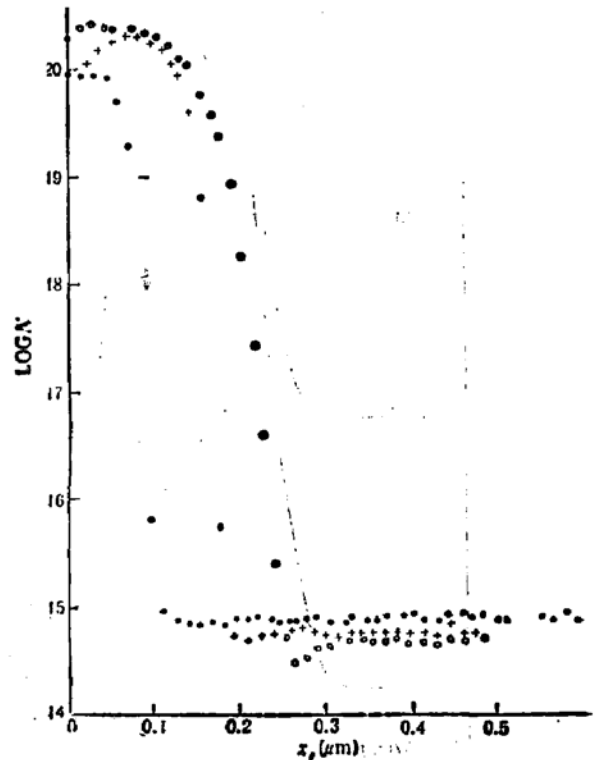


图3 冷发射电子束掺杂磷后浓度-深度分布曲线

(3) 电子束流强弱影响结深浅。

上述结果与热发射式产生的电子束掺杂效果是一致的^[3]。

表 1 是通过控制时间获得高浓度浅结的结果, 其数据对应的掺杂浓度分布曲线如图 3 所示, 它有以下特点:

- (1) 结浅、浓度高、分布陡;
- (2) 可以用时间控制结深;
- (3) 浓度-深度分布的转变区小;
- (4) 随着时间增长, 不仅表面浓度, 而且峰值浓度均增高, 结深也增加。

其中结深和浓度深度分布是用美国 ASR-100/C 扩展电阻仪测量。

表 1 冷发射电子束掺杂磷结果

片 号	方块电阻 (Ω/\square)	峰值浓度 ($1/\text{cm}^3$)	结 深 (μm)	时 间 (秒)	迁 移 率 ($\text{cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$)
1	25.0	2.80×10^{20}	0.260	20.0	38.4
2	50.0	2.00×10^{20}	0.180	12.0	39.4
3	140.0	1.00×10^{20}	0.110	6.00	42.6

2. 损伤分析

冷发射电子束掺杂层的沟道背散射测量结果与用热发射电子束所得的结果完全一致^[3], 损伤均在背散射测量灵敏度以下。用日本的 JEM-1000 高压透射电镜观察掺杂层的横断面, 辐照 11 秒的样品没有观察到损伤, 辐照 30 秒后的样品仅在一个角度上才观察到一些点缺陷损伤, 如图 4 (见图版 I) 所示。所用样品的结深为 $0.38\mu\text{m}$ 。这一结果比离子注入掺杂经最佳退火后的损伤^[4]要小得多。

3. 横向掺杂剖析

图 5 (见图版 I) 是在有 SiO_2 和没有 SiO_2 掩蔽下电子束掺杂后扫描电镜显微照片。

从照片上可以看到在无 SiO_2 掩蔽层的下面形成的 PN 结, 不仅很浅, 而且横向掺杂几乎可以忽略不计。这一结果不仅比扩散掺杂法好得多, 就是离子注入加瞬态退火掺杂法也是无法与其相比美的。

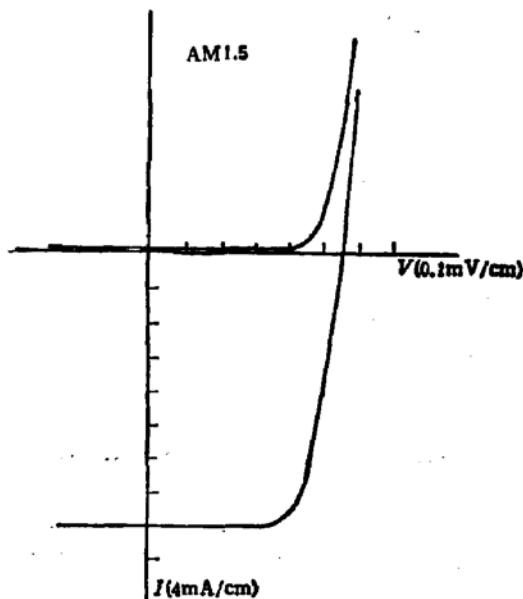


图 6 硅光电池的伏安特性及其特性参数

四、器件应用举例

利用冷发射电子束设备对特殊要求的硅光电池控制器件进行实际掺杂应用。这种器件灵敏度高、漏流小、要求稳定输出。实验中所用衬底为 P 型 $\text{Si}(100)$, $\rho = 3-5 \Omega \cdot \text{cm}$ 。硅光电池的伏安特性及其参数如图 6 所示。

五、结 论

本文提出并研究的电子束掺杂是一种新的半导体掺杂方法。电子束掺杂法具有独特的优点是掺杂时间短、浓度高、超浅结、结特性好。它将是超大规模集成电路工艺中可以广泛采用的掺杂方法之一。

作者感谢中国科学院半导体所李远镜等工艺线的同志在太阳能器件工艺方面给予的协作。作者还要特别感谢王守武教授对本课题的关注和有益的讨论。

参 考 文 献

- [1] 李秀琼等, 半导体学报, 5, 103(1984); *Chinese Physics* (美国物理学会出版), 4, 710(1984).
- [2] 李秀琼等, 微细加工技术, 第四期, 17(1984).
- [3] 李秀琼等, 微细加工技术, 第四期, 1(1986).
- [4] Zhang Tonghe *et al.*, The proc. of the Second International Conference on Solid State and Integrated Circuit Technology, October 22—27, 1989, Beijing, p229.

Phosphorus Doping by Cold Emitting Electron Beam

Li Xiuqiong, Wang Peida, Ma Xiangbin and Wang Chun

(Microelectronics Center, Academia Sinica)

Abstract

A new method for doping by cold emitting electrons beam has been developed. Super-shallow junctions [$(X_j)_{\min} \leq 0.1 \mu\text{m}$] with high doping concentration ($c_{\max} = 2.8 \times 10^{20}/\text{cm}^3$) can be prepared by this method, and the damage of the doped layer is much less serious than that prepared by ion implantation. The devices with good performance for solar cell controlling have been fabricated by using the method.

Key words Cold emitted electron beam, Doping, Super-shallow junction