

电子束掺杂磷

李秀琼 孙慧玲 王培大

(中国科学院半导体研究所)

电子束加工组*

(中国科学院电工研究所)

1982年12月8日收到

提 要

本文提出了一种新的半导体掺杂方法。将掺杂杂质涂敷在待掺杂的半导体表面,利用连续电子束辐照实现了掺杂。其结深可由电子束的参数调节加以控制。

对掺磷的电子束掺杂层进行测量分析,表明, $N_p = 3.5 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$, 层内 $N(x)$ 的变化范围为 $10^{18} - 10^{20} \text{cm}^{-3}$, $\mu(x)$ 为 $57 - 130 (\text{cm}^2/\text{V} \cdot \text{sec})$; 低能电子衍射图案呈单晶衍射点和菊池线; 沟道背散射测量电子束掺杂层损伤比离子注入的小得多。用这一掺杂法研制成功的平面二极管,性能良好。

一、引 言

半导体掺杂技术的改进对提高器件性能有着十分重要的意义。扩散法代替了合金法,离子注入法在 LSI 和 VLSI 中又部分地代替了扩散法,这是器件、集成电路向高频、高速、高集成度发展的需要。目前离子注入法虽已普遍采用,但注入层损伤的激光退火或电子束退火工作还在研究中。近几年又提出激光诱导扩散法^[1]。本文提出一种新的掺杂方法,即用电子束辐照,使涂敷在 P 型硅片上的磷杂质掺到半导体中,形成的 p-N 结是可控的,对掺杂层进行了测量和分析,并试制成功平面二极管。

二、实验与结果

1. 实验装置和方法

掺杂实验所用的电子束装置,其样品台座移动速度,电子束的加速电压、束流、束斑大小均可调。实验样品为 p-Si, $\langle 100 \rangle$ 晶向, $\rho = 5 - 10 \Omega \cdot \text{cm}$, 经严格清洁处理后,使含磷杂质源均匀涂敷在表面上,用连续电子束辐照后实现了掺杂。

2. 实验结果

在我们的实验条件下,测量数据分析表明,掺杂结深可由电子束的参数加以控制,从

* 参加工作的有林达,刘振舟,周广德,何丽明,伍松荫,郭彭琴,丘宁茂。

表 1 有以下结果:

(1) 在一定的电子束辐照时间、能量和束流下,辐照次数与结深关系不大;

表 1 电子束掺杂情况

样 品 号	电压 (kV)	电流 (mA)	方阻 ($\Omega/\square$)	结深 (μm)	观察情况
34 [#]	30	4	15.5	0.54	红
35 [#]	30	6	15.0	0.68	红
36 [#]	30	3.8	16.0	0.54	微红
38 [#]	30	8	12.5	0.67	
41 [#]	30	6	11.0	0.54	红
49 [#]	15	6	23.8	0.40	红
52 [#]	30	6	24.0	0.54	红
62 [#]	1075 $^{\circ}\text{C}$ 扩散 30 分钟		7.0	0.91	发白

注: 34[#]、35[#]、36[#]为慢扫描辐照; 52[#]为辐照二次。

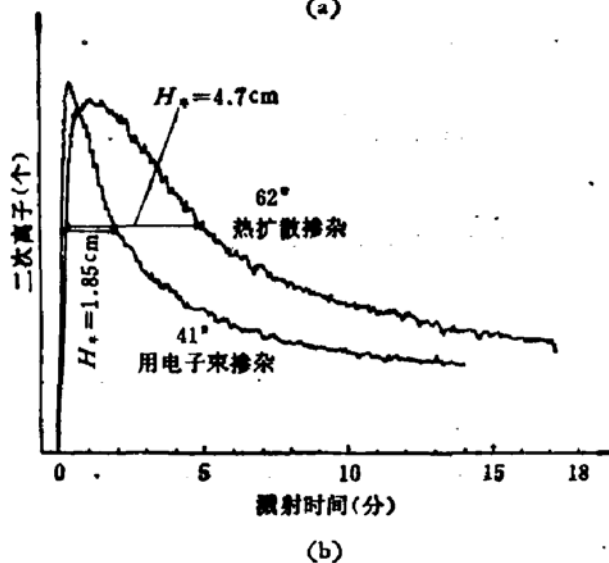
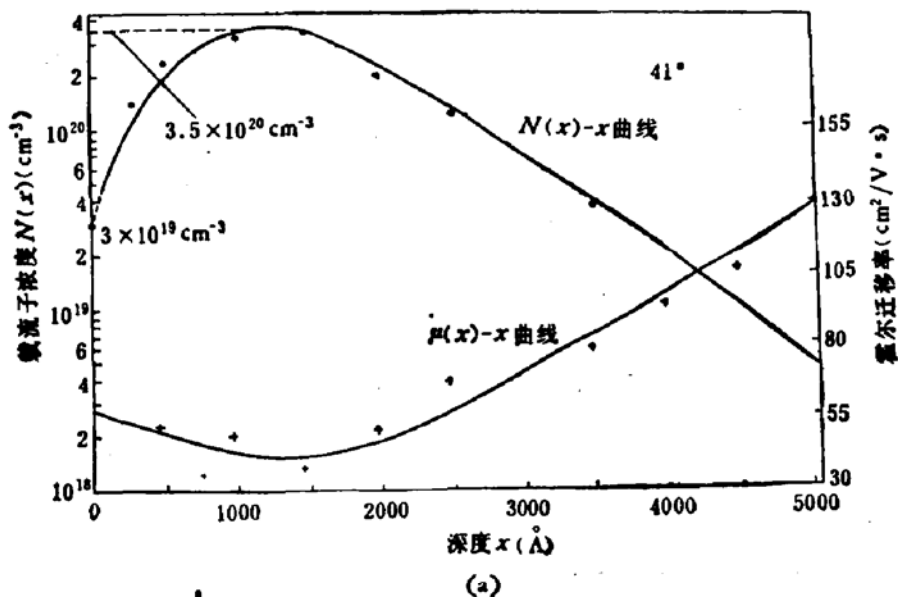


图 1 电子束掺杂层的杂质分布

(a) 载流子浓度, 迁移率随深度的分布 (b) 电子束掺杂和热扩散掺杂杂质浓度分布的比较

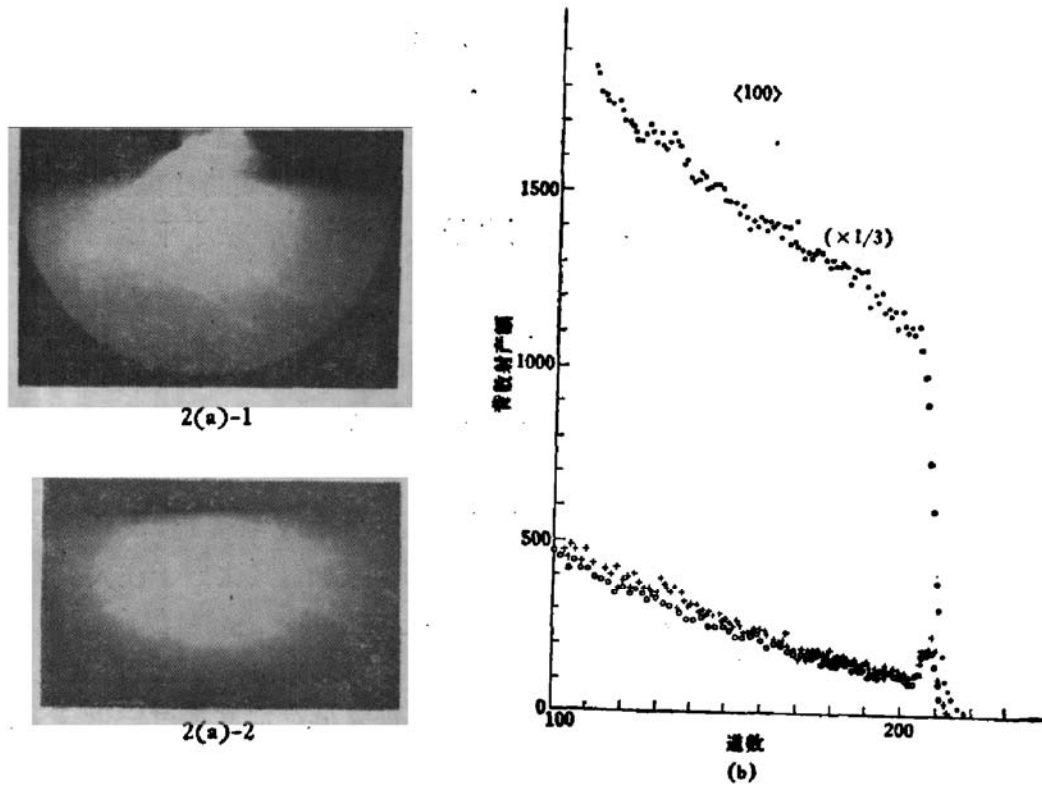
- (2) 扫描速度快则结浅,反之,慢则结深;
- (3) 电子束能量大的结深,反之,小的结浅;
- (4) 电子束流的强弱影响了 P-N 结深浅。

本实验结深测量是通过磨角染色后用干涉显微镜照相加以实现,其测量误差 $\pm 300 \text{ \AA}$ 。

3. 电子束掺杂层的性质

为了更好地实现对电子束掺杂层的控制和应用,我们将同一条件下形成掺杂层(以下用41*样品为例)进行了多种测量分析。

(1) 电子束掺杂层的杂质分布 (a) 采用阳极氧化方法逐层剥蚀,并逐层用范德堡法进行了薄层霍尔系数测量。得到载流子峰值浓度 N_p 为 $3.5 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$, 在层内 $N(x)$ 变化范围为 $10^{18} - 10^{20} \text{ cm}^{-3}$, $\mu(x)$ 的变化范围为 $57 - 130 \text{ (cm}^2/\text{V} \cdot \text{sec)}$, 如图 1(a) 所示; (b) 用离子探针测量掺杂层 $N(x)$, 并与热扩散掺杂样品 62* (1075°C , 30 分钟) 进行比



(a) 图 2 电子束掺杂层的损伤情况

(a) 低能电子衍射图案 2(a)-1 电子束掺杂图案; 2(a)-2 热扩散掺杂图案

(b) 电子束掺杂前后的沟道背散射谱

41* ● 随机谱(纵坐标缩小三倍) ○ 掺杂前光片定向谱 + 电子束掺杂后定向谱(损伤谱)

较,它们的杂质源形成及测量条件均相同。电子束掺杂的半高宽仅为热扩散的 40%、如图 1(b) 所示。这表明电子束掺杂制备浅结具有一定的潜力。

(2) 电子束掺杂层损伤分析 (a) 对掺杂层进行低能电子衍射分析,衍射图案显示出清晰衍射点及菊池线,说明掺杂后还是很好的单晶,如图 2(a) 所示; (b) 用 $^4\text{He}^+$ 沟道背散射对未掺杂区测量了定向谱和随机谱,再对电子束掺杂区测定定向谱(损伤谱)如图 2(b) 所示,从谱图上可见掺杂前后的定向谱几乎重合在一起,经计算得到掺杂后的沟道

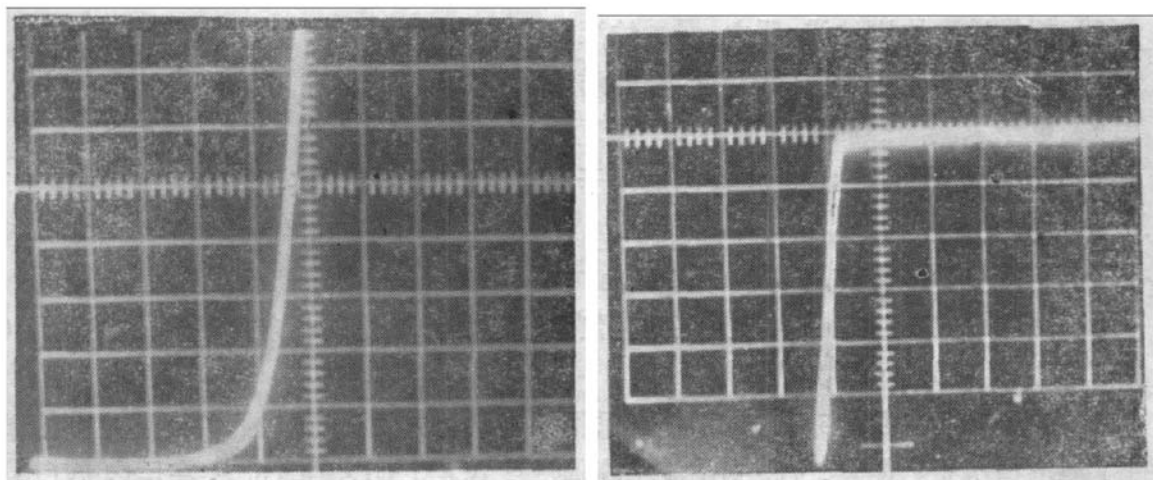


图3 电子束掺磷二极管特性曲线

(a) 正向特性: 纵坐标 0.01mA/格, 横坐标 0.1 V/格 (b) 反向特性: 纵坐标 0.01 mA/格, 横坐标 10V/格

背散射最大产额只有相同道数随机谱产额的 2.7%; 而硅中离子注入砷 (80keV , $1 \times 10^{16}\text{cm}^{-2}$) 后经退火 (900°C , 30 分钟) 的为 12.9%, 经脉冲电子束退火后 (注入能量 50keV , $1 \times 10^{15}\text{cm}^{-2}$) 的为 5%^[2]。这说明用电子束实现掺杂后的晶体比用离子注入后经退火实现掺杂的晶体的损伤小得多。这个结论也不难理解, 因为电子质量比离子质量小得多。

为了证明这一掺杂法的实用性, 我们用电子束掺杂研制成功了平面二极管, 性能较好, 如图 3 所示。

关于电子束掺杂的实现机理另文讨论。

三、结 束 语

根据我们的实验初步可以看出, 电子束掺杂具有时间短, 温度低, 又不需另加退火工艺过程, 既避免了长时间高温工艺过程所引起的杂质再分布, 又比离子注入具有晶格损伤小得多等优点, 它可能是一种切实可行的浅结掺杂方法。

本实验得到半导体所二室、理化室、三室许多同志的大力协作帮助, 特别是舒惠云、杨占坤同志; 刘宗德同志对本工作非常支持; 马俊如副研究员对本文提过宝贵意见。在此, 我们一并表示衷心的感谢。

参 考 文 献

- [1] J. Narayan. et al., *Appl. Phys. Lett.*, **33**, 338(1978).
- [2] 伊藤弘次, 饶德祥等, 半导体学报, **2**, 234(1981).

Impurity Doping Phosphorus by Electron Beam

Li Xiuqiong, Sun Huiling and Wang Peida

(*Institute of Semiconductors, Academia Sinica*)

Electron Beam Processing Group

(*Institute of Electrical Engineering, Academia Sinica*)

Abstract

A new method for impurity doping of semiconductor has been developed. Impurity is coated on semiconductor surfaces and doping is realized by continuous electron-beam irradiation. Its junction depth x_j can be controlled by regulating the electron-beam parameters.

The measurements and analysis for phosphorus doped layer realized by electron beam show that $N_p = 3.5 \times 10^{20}/\text{cm}^3$ in the layer, $N(x)$ ranges from 10^{18} to 10^{20} (cm^{-3}) and $\mu(x)$ from 57 to 130 ($\text{cm}^2/\text{V} \cdot \text{sec}$); low energy electron diffraction patterns appear as single crystal diffraction spots and Kikuchi lines; lattice damage of phosphorus doped layer by electron beam is measured by channeling and backscattering spectrometry and proves to be much smaller than that of phosphorus doped layer by ion implantation. Using this method, junction diodes with good performance have been fabricated.