

辉光放电电子束掺杂硼浅结

李秀琼 王 纯 马祥彬 杨 军

(中国科学院微电子中心,北京650信箱,100010)

1991年4月24日收到,同年6月27日修改定稿

一种新的半导体掺杂方法——电子束掺杂法成功地用于实现掺硼浅结。它是用辉光放电电子束辐照涂敷杂质源的半导体表面,形成高浓度($\geq 10^{19}/\text{cm}^3$)、浅结($\leq 0.1\mu\text{m}$)掺杂层。损伤比离子注入的小。试制成功的太阳敏感器件性能优良。

EEACC: 2530B, 2550B, 2315, 2320

一、引言

自从六十年代初采用离子注入技术作为新的半导体掺杂工艺以来,极大地促进了半导体集成电路的发展。正是由于集成电路的迅速发展,反过来又对半导体掺杂提出更高的要求,最突出的是结深越来越浅。

在MOS电路方面,MOS集成电路是超大规模集成电路(VLSI)的主要电路形式,提高集成度和工作速度是VLSI的重要课题之一。而缩短沟道长度是提高器件高频特性和工作速度的重要途径,随即出现所谓短沟道效应,抑制短沟道效应的有效办法是减少漏和源结深。

在CMOS-VLSI研究中,如何实现硼浅结是非常关键的一步。用硼扩散和硼离子注入均不易得到浅结。后者因在室温下高剂量硼注入不产生无定型层, B^+ 的沟道效应显著。要完全激活需 $\geq 900^\circ\text{C}$ 的退火温度,扩散引起的再分布非常可观。另一方面,浅结注入能量要低,在常规注入机上在低能量下引束、 B^+ 束流不仅较小,而且束斑及稳定性都很差。 B^+ 注入硅、其能量为30keV、对应射程为1000Å。退火后的结深已不合乎VLSI要求。人们还采用穿过氧化层注入法,但伴随着严重的高浓度氧反冲注入,同样对器件特性产生不良影响。

国内外学者均已着手 BF_2 分子的离子注入研究,能量为50keV的 BF_2 能给出300Å左右的硼射程。氟离子很重,能形成无定型区,可以低温退火,但尾部和无定型区之间区域仍存在被缺陷陷阱补偿的自由载流子,这需要更高的退火温度。

有的学者用Ga来代替硼注入,因为Ga的原子序数与As差不多,Ga在室温下剂量大于 $5 \times 10^{14}\text{cm}^{-2}$,即可形成无定型区。但据报道,其激活率很低(约30%)。总之,至今 $\leq 0.2\mu\text{m}$ 的硼浅结是一个没有完全解决的问题。

最近几年,我们成功地研究一种新的半导体掺杂方法——电子束掺杂。它能很好地

解决磷掺杂问题^[4-6]。近期，我们在自行设计的辉光放电电子束机^[6]上进行硼浅结方面的探索，已有了很好的新结果。要说明的是在文献[4]中我们称它为“冷发射电子束”，这是因为我们在实验中发现辉光放电过程中包含有“冷发射”机制。

二、电子束掺杂设备及工艺

1. 辉光放电电子束设备

设备的主要组成如图1所示。(1)进气及其控制，(2)抽气和真空测量系统，(3)高压和时间控制，(5)温度测量系统，(6)冷却系统，(7)掺杂室。

2. 辉光放电电子束掺杂工艺

(1) 样品清洁处理和掺杂源涂敷工艺与平面工艺相同。

(2) 电子束掺杂工艺

电子束掺杂过程也属于瞬态热处理范畴，原则上说既要有陡快的上升和下降时间，又要有平稳的恒温区。通过对流量、真空度、电压和电流的精心选择，一般说来在一定的真空中可以找到如图2所示的温度(T)和时间(t)曲线， T 与 t 的具体数值根据实际工艺要求并通过实验决定。

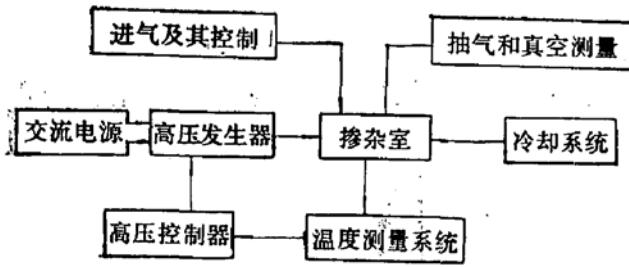


图1 电子束掺杂设备示意框图

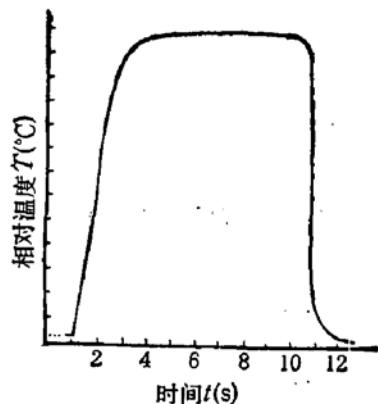


图2 辉光放电电子束的 $T-t$ 曲线

表1 掺硼的温度与时间的选择参考表

样品号	平均温度(°C)	时间(s)	平均方阻(Ω/□)	结深(μm)	峰值浓度(cm⁻³)
15 ₁	993	20	700		
12 ₁	1001	20	108	0.115	3.0×10^{19}
IC-2	1065	15	60	0.200	8.5×10^{19}
III C-1	1065	25	36	0.450	1.0×10^{20}

对一个参数变化繁多的系统，我们采用固定其中几个参数而只改变少数参数，以便稳定和重复控制过程。表1给出用温度和时间来控制过程进行掺硼的结果。具体温度和时间选择决定于不同样品和工艺要求。实验中结深和浓度-深度分布是用 ASR-100/C 扩展电阻仪测量的。

掺杂效果的简易鉴测方法可以通过用四探针测其方块电阻来定性地判断。在一定的

表面源下,典型的方块电阻和结深关系如图 3 所示。如果没有合适的曲线作参考,则要根据具体的实验条件和样品作几次实验以便确定最适当的曲线关系。

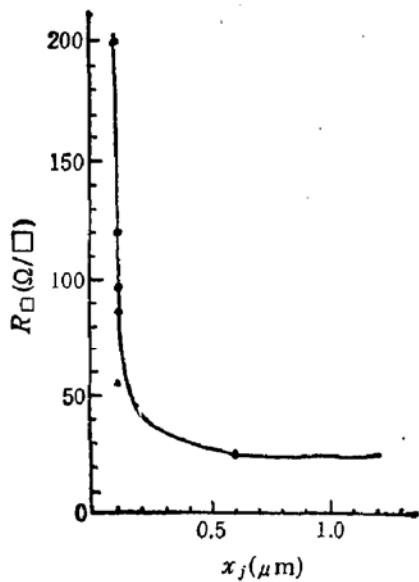


图 3 电子束掺硼的 R_{\square} - x_j 关系曲线

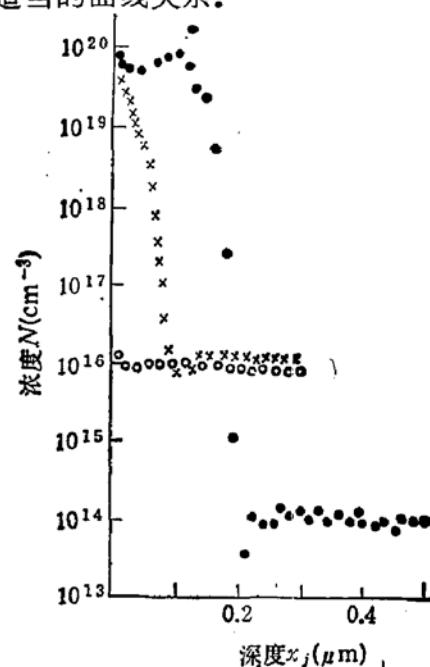


图 4 辉光放电电子束掺硼浅结的 SRP 测量结果, \times —A 样品, \bullet —B 样品, \circ —衬底。

三、实验结果

1. 辉光放电电子束可以实现掺硼浅结。图 4 中标有圆圈‘○’的曲线表示没有进行电

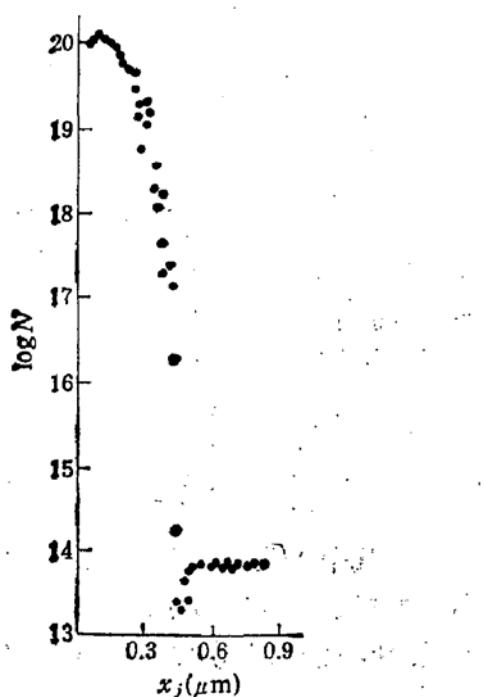


图 5 某特殊要求的器件辉光放电电子束掺硼-SRP 结果

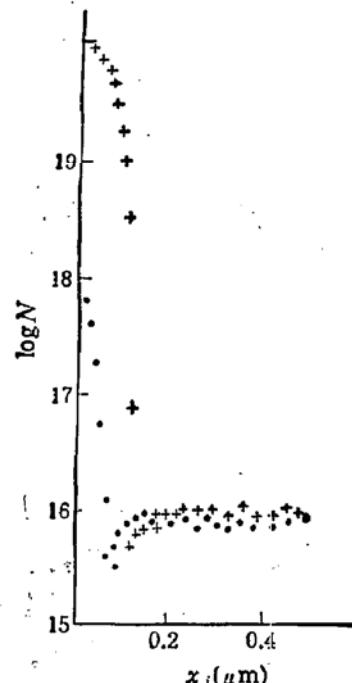


图 6 不同浓度要求的掺硼浅结, ●—1 号掺杂源, +—2 号掺杂源。

子束掺杂的浓度-深度分布；直线说明衬底是均匀掺杂；“×”号表示的曲线是低阻衬底片电子束掺杂硼后的浓度-深度分布；“●”表示的曲线是高阻衬底片电子束掺杂硼后的浓度-深度分布。

2. 结深可以根据要求进行控制。图5的浓度-深度分布是某器件的要求。原先用扩散法进行掺杂，不仅要预先淀积，而且在高温下扩散时间长达半个小时，最高浓度也只有 $10^{19}/\text{cm}^3$ 。采用电子束掺杂法，掺杂仅需几秒时间，而且峰值浓度比扩散法的高一个数量级，浓度分布的陡度也好得多。

3. 掺杂层的杂质浓度可以根据要求加以控制。图6中(●)和(+)表示两个不同浓度分布的曲线。

4. P^+N 掺杂层的损伤小。沟道背散射谱(图7)表明，掺杂硼前后的定向谱重合在一起，这表示掺杂后造成的损伤很小。

四、电子束掺硼机理

在热发射电子束掺杂情况下，我们已对热效应做过定量的描述^[3]。而辉光放电电子束掺杂的情况有所不同。这里不存在电子束斑大小的问题。其电压只局限在可发生辉光放电的较低电压范围。但实验表明，样品的温度与功率成正比关系。这点与热发射电子束的规律是一致。不同之处是这里以较大的电流来补偿较低电压的影响。样品发红是热效应的体现；电效应体现在电子轰击掺杂源层使大部分杂质原子离化，离化杂质原子同电子或空穴建立局部电场^[3]，实际上是这些离化了的杂质原子(施主或受主)的浓度梯度产生内建电场，该电场增强了离化杂质原子的扩散率。所以，我们认为电子束掺杂可能的机制是热效应和电效应相辅相成的综合效果^[3]，或者说是低能电子束作用产生电场 E 对杂质离子扩散起推动作用模型。

五、器件应用

为了说明 P^+N 浅结的形成及其独特优点，我们试制成功卫星上用的硅太阳敏感器件，图8揭示该器件浓度-深度分布和掺B浅结横截面。测量结果表明，“响应度电流”、“并联电阻”、“均匀性”等项指标均超过要求，尤其应该指出的是，“均匀性”指标比要求高一个数量级，“并联电阻”最高的比要求的高两个数量级。这对高空和高温下工作的器件的稳定性和可靠性具有特别重要的意义。

中国科学院半导体所李远镜等工艺线同志帮助完成掺杂以外的器件工艺，作者向他们表示诚挚的感谢。

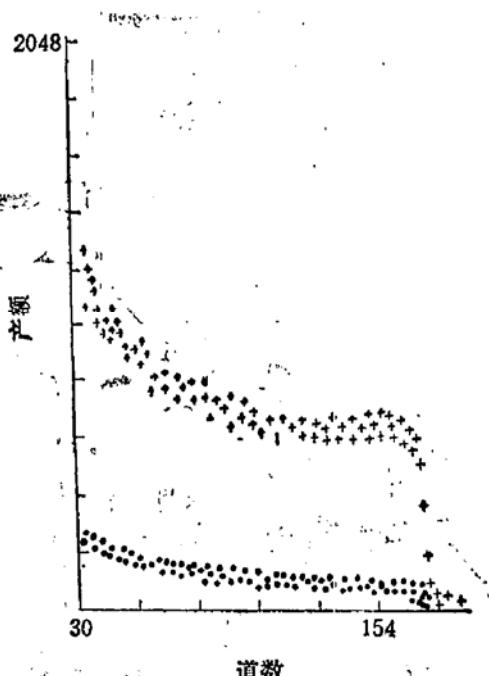


图7 辉光放电电子束掺杂硼前后的背散射沟道谱 +—随机谱，●—纯硅，纯硅和掺硼后沟道谱重合在一起

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] 李秀琼等,半导体学报,**12**,942(1991).

Super-Shallow Junction formed by Electron Beam Doping Boron during Glow Discharge

Li Xiuqiong, Wang Chun, Ma Xiangbin and Yang Jun

(Microelectronics Center, Academia Sinica P. O. Box 650, Beijing, 100010)

Abstract

A new method of semiconductor doping—doping by electron beam has been successfully used to fabricate boron super-shallow junction. The semiconductor surface coated with boron sources was irradiated by electron beam produced during glow discharge to form a doping layer with high impurity concentration ($>10^{20}\text{cm}^{-3}$) and super-shallow junction ($<0.1\mu\text{m}$). The lattice damage is much less serious than that prepared by ion implantation. A solar sensitive device with excellent performance was successfully fabricated.

EECC: 2530B, 2550B, 2315, 2320