

等离子体掺杂中杂质进入半导体方式的讨论^①

张浩¹ 侯瑞祥²

(1.石家庄市第二中学 河北石家庄 050000; 2.北京大学 北京 100871)

摘要: 在等离子体掺杂过程中, 等离子体中的杂质, 既可能通过扩散也可能通过离子注入的方式进入半导体。本文首先假设杂质以离子注入的形式进入半导体, 基于杂质的浓度分布, 借助LSS理论推出该情况下杂质的注入深度的表达式并计算出杂质的注入深度, 然后与实验结果对比, 发现计算值远小于实验值, 得出假设不成立, 进而推出杂质进入半导体的主要方式是扩散而不是离子注入。

关键词: 半导体 等离子体掺杂 离子注入 注入深度 扩散

中图分类号: TM23

文献标识码: A

文章编号: 1674-098X(2018)07(c)-0127-02

工业上, 对生长完成的半导体材料进行掺杂的主要手段有高温扩散、离子注入、等离子体浸没离子注入^[1]等。最近, 秦国刚等人又发明了一种新的等离子体室温掺杂方法^[2, 3]。

研究发现, 置于等离子体的半导体表面会存在一个鞘层, 且该鞘层内存在一个电场^[4]。等离子体中的杂质离子进入半导体之前, 会经过此电场并被加速, 获得一定的动能。所以, 等离子体中的杂质进入半导体的微观机制可能有两种, 即杂质既可能通过离子注入的形式进入半导体, 也可能是上文提到的等离子体激励下的室温扩散。

本文根据等离子体中杂质进入半导体后的浓度分布讨论掺杂的微观机制, 通过计算结果与实验数据对比, 推出杂质进入半导体的主要微观机制。

1 方法

第一步, 假设杂质进入半导体的主要方式为离子注入; 第二步, 基于半导体中杂质的浓度分布的实验数据, 借助LSS理论计算出该情况下杂质在半导体中的注入深度; 第三步, 将计算出的注入深度与杂质的浓度分布给出的掺杂深度进行对比, 进而推出杂质进入半导体的主要方式。

2 结果与讨论

置于等离子体中的半导体表面存在鞘层。等离子体为电中性, 故鞘层靠近等离子体一方的边缘的电势可看作0。鞘层靠近半导体一方的边缘, 即半导体的表面处, 电势为负值, 用 ϕ 来表示。根据玻姆鞘层^[5]和玻姆判据^[6]理论, ϕ 可由式(1)表示。其中, K 是玻尔兹曼常数, T_e 表示电子温度, m_e 和 m_i 分别表示电子和离子的质量。根据式(1)估算可得, ϕ 大小通常是几十伏特。

$$\phi = \frac{KT_e}{2e} \ln\left(\frac{2\pi m_e}{m_i}\right) \quad (1)$$

1963年, Lindhard, Scharff和Schott三位学者通过研

究建立了注入离子在靶材料内的浓度分布理论, 简称LSS理论。假设等离子体掺杂过程中杂质进入半导体的主要方式是离子注入, 则由LSS理论可以得出, 注入半导体的杂质离子的浓度分布为:

$$N(x) = \frac{Q}{\sqrt{2\pi}\Delta R_p} e^{-\frac{(x-\Delta R_p)^2}{2\Delta R_p^2}} \quad (2)$$

其中, Q 表示注入的杂质的总剂量 ($/\text{cm}^2$), x 表示到靶材料最表面处的距离, $N(x)$ 表示杂质离子在 x 处的浓度。 R_p 和 ΔR_p 分别表示杂质离子注入半导体的射程和射程的标准偏差, 可由SRIM(The Stopping and Range of Ions in Matter)程序模拟求出。

以下, 推导注入深度(用 L_i 表示)的表达式。杂质在半导体中的浓度分布曲线通常由二次离子质谱(SIMS)测量给出。这里, 近似的取杂质刚降至SIMS检测限(用 C_{dl} 表示)处对应的深度为注入深度。杂质的浓度峰值, 位于半导体表面附近, 不妨称其为杂质的表面浓度(用 C_s 表示)。

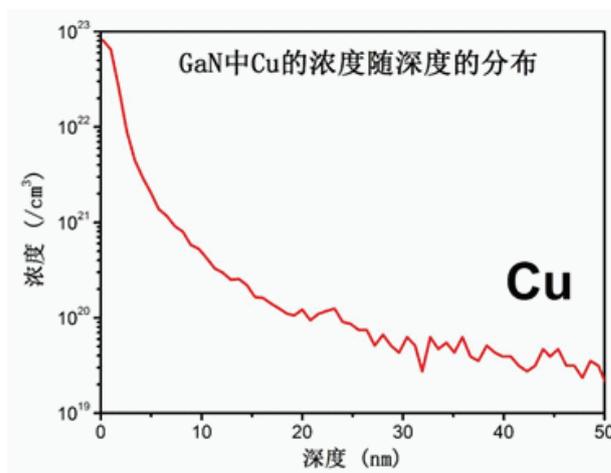


图1 GaN中Cu的浓度随深度的分布

①作者简介: 张浩(2000—), 男, 汉族, 河北石家庄人, 高中在读, 研究方向: 等离子体掺杂中杂质进入半导体方式的讨论。

侯瑞祥(1989—), 男, 汉族, 河南开封人, 博士在读, 理学博士, 研究方向: 外激励下半导体中杂质的室温扩散与掺杂。

由LSS理论可知,表面浓度对应的深度就是注入杂质离子的射程 R_p 。将 C_s, R_p, C_{dl}, L_i 代入式(2),即可推导出注入深度的表达式,如下:

$$L_i = R_p + \sqrt{2 \ln \left(\frac{C_s}{C_{dl}} \right)} \Delta R_p \quad (3)$$

接下来,以利用等离子体对GaN掺Cu的实验结果为例,讨论等离子体掺杂过程中杂质进入半导体的主要方式。图1显示的是经过二次离子质谱测量得到的,利用等离子体对GaN掺Cu后,Cu的浓度随深度的分布。

由图1,Cu的表面浓度 C_s 为 $8E22/cm^3$,二次离子质谱的检测限 C_{dl} 为 $5E19/cm^3$ 。经过SRIM程序计算可得 $R_p=0.4nm$ 、 $\Delta R_p=0.3nm$ 。将 $C_s, C_{dl}, R_p, \Delta R_p$ 代入式(3)。经过计算可得Cu在GaN中注入深度为 $1.6nm$ 。而图1给出的注入深度的实验值是 $30nm$ 左右,远大于其计算值。因此,Cu主要以离子注入的形式进入半导体的假设不成立。由此,可推断Cu主要是以扩散的方式进入GaN。

3 结语

本文首先假设杂质以离子注入的形式进入半导体,基于杂质的浓度分布,借助LSS理论推出该情况下杂质的注入深度的表达式并计算出杂质的注入深度,然后与实验结

果对比,发现计算值远小于实验值,得出假设不成立,进而推出杂质进入半导体的主要方式是扩散而不是离子注入。

参考文献

- [1] J.R. Conrad et al, Plasma source ion-implantation technique for surface modification of materials[J].J.Appl. Phys.,1987(62):4591-4596.
- [2] Ruixiang Hou et al,Doping Si,Mg and Ca into GaN based on plasma stimulated room-temperature diffusion[J]. Appl.Phys.A,2017(123):393.
- [3] Ruixiang Hou et al,Room-temperature plasma doping without bias power for introduction of Fe,Au, Al Ga, Sn and In into Si[J].Appl.Phys.A,2016(122):1013.
- [4] 戴忠玲,王友年,马腾才.射频等离子体鞘层动力学模型[J].物理学报,2001,50(12):2398-2402.
- [5] 赵晓云,刘金远,段萍,等.不同成分等离子体鞘层的玻姆判据[J].物理学报,2011,60(4):382-387.
- [6] 王正涵,刘金远,邹秀,等.尘埃等离子体鞘层的玻姆判据[J].物理学报,2004,53(3):793-797.

(上接126页)

络的环境自适应控制系统,能够将试验车内的环境空气各项参数快速调节到预期范围,具有良好的鲁棒性,能够满足实际应用的需要。

参考文献

- [1] 郭创新,暴英凯,文东山,等.基于改进雷达图法的电气设备检修中的认为可靠性分析[J].电力科学与技术学报,2016,31(1):116-120.
- [2] 杜晓平,李涛,卢国筠,等.移动式电力设备质量抽检系统的研究与应用[J].国网技术学院学报,2016,19(4):37-40.
- [3] 丁家峰,罗安,胡志坤,等.变压器油中溶解气体实时在线监测系统的研制[J].电力自动化设备,2011,31(6):36-40.
- [4] 张文亮,于永清,李光范,等.西藏高海拔试验季度的功能与设计[J].高电压技术,2009,35(8):1785-1790.
- [5] 张静,石煜,杨继森,等.室内环境智能控制系统设计[J].实验室研究与探索,2016,35(7):65-70.
- [6] 王琨,刘大茂.基于多传感器的车内环境智能控制系统设计[J].洛阳师范学院学报,2016,35(2):32-37.
- [7] 王源,刘成刚,李翠敏,等.热湿环境多变量模糊解耦控制方法研究[J].建筑科学,2014,30(10):18-23.
- [8] 郝涛,侯明冬.基于PID算法的温湿度控制系统设计[J].齐鲁工业大学学报,2016,30(2):63-67.
- [9] Medagliani P, Martalo M, Ferrari G. Clustered ZigBee

networks with data fusion: Characterization and performance analysis[J]. Ad Hoc Networks, 2011, 7(9): 1083-1103.

- [10] Kawan-Wu Chin, John Judge. Implementation Experience with MANET Routing Protocols. ACM SIGCOMM Computer Communications. November 2002. Volum 32, Number 5.
- [11] 庄春梅,王利利,陆建德.DSR协议的路由缓存策略[J].计算机工程,2010(2):100-101.
- [12] 陈旭.Ad Hoc网络系统中AODV协议算法的研究及实现[D].西安,西安电子科技大学,2010.
- [13] 于跃,张峰,张士文.基于ZigBee技术的电力设备远程监控系统[J].计算机技术与应用,2017,39(2):41-45.
- [14] 李长有,王文华.基于DHT11温湿度测控系统设计[J].机床与液压,2013,41(13):107-108.