

一种新型离子注入方法

——电子聚焦电场增强辉光等离子体离子注入研究[♣]

李刘合³, 梁爱凤, 尹蓝

北京航空航天大学机械工程与自动化学院, 材料加工与控制系, 北京, 100083

朱剑豪

香港城市大学, 应用物理及材料系, 等离子体实验室, 香港, 九龙塘, 达之路

摘 要: 本文提出了一种新型的等离子体基离子注入方法——电子聚焦电场增强辉光等离子体离子注入, 介绍了该方法的基本结构和基本原理, 采用该方法, 进行了硫元素的离子注入, 采用 X 射线光电子能谱深度剥层分析的方法测量了注入硫的深度分布, 并采用 TRIM 程序对注入结果进行了模拟对比分析。

关键词: 辉光等离子体、离子注入、电场

A New Method Ion Implantation

——Enhanced Glow Discharge Plasma Ion Implantation (EGDPII)

Liuhe Li, Zhiguo Wei, Tiantian Chen

School of Mechanical Engineering and Automation, Beijing University of Aeronautics and Astronautics,
Beijing, 100083, PRC

Paul K. Chu

Dept. of Physics & Materials Science, City University of Hong Kong, Kowloon, Hong Kong

Abstract: Electron Focused Electric Field Enhanced Glow Discharge Plasma Ion Implantation, a new Plasma Based Ion Implantation method, is presented in this paper. The base structure and mechanism of the implanter are introduced. And as an example, the sulfur element is implanted into the Si wafer. The depth profile is obtained by XPS analysis, and as a comparison, the results by using TRIM simulation are also given.

Keywords: Glow discharge plasma, ion implantation, electric field.

♣获国家自然科学基金(编号: 50271004)部分资助

³北京市海淀区, 学院路 37 号, 北京航空航天大学, 材料加工与控制系。邮编: 100083; Tel:010-82338135; Email: liliuhe@buaa.edu.cn

1、引言

随着现代科学技术的发展,对材料的要求越来越高,不再局限于传统的、单一的材料,而是逐渐向合成化、集成化、多功能化发展。薄膜材料科学作为材料科学的一个分支,通过在体材料的表面沉积或制备一层性质与体材料性质完全不同的物理层,从而使材料往往具有特殊的材料性能或性能组合[1],恰能满足科学发展对材料的这种要求,因而在最近几十年里取得了很大的发展。而近年来发展出来的全方位离子注入技术[2],因为克服了视线式离子注入只能从某特定方向进行注入的缺点而得重视,国内外已经展开了大量的研究工作[3-5]。

材料全方位离子注入或者注入且沉积的表面改性技术发展到今天,已经取得了令人瞩目的成果。其基本原理是把物体置于真空容器内,然后采用不同的离子源产生等离子体:如热灯丝电子激发、射频激发、微波激发、电磁振荡、真空电弧、磁控溅射等多种形式的等离子源形成等离子体后,同时在工件上施加高负偏压进行离子注入。

但是由于注入的时候,注入离子的轮廓受到鞘层厚度的限制,而鞘层的形成跟工件的形状有密切的关系,因此,对于非圆球形状的工件,其形成的鞘层曲率可能普遍小于工件本身的曲率,这样,在孔隙、罅缝、棱角、边缘等地方,注入剂量不均匀;在注入过程中,随着离子的消耗,电子向边缘的驱离,二次电子的产生等,工件上连续施加负偏压的时间不能过长,过长会使得鞘层扩展到真空室壁引起打火或熄灭;由于等离子体的产生依然通常需要复杂的辅助设备,无形中会增加全方位离子注入的成本及操控复杂性,影响工艺的可精确重复率;不能适用于所有元素的等离子体化,特别是对于低电导率的固体材料如硫、磷以及硼、硅、锗等半导体和元素周期表中的 IA 和 IIA 族的多数低熔点、高化学活性的元素等,而这些物质有望被应用于生物、光学、电子的各个领域。

针对以上问题,本文介绍一种新型的离子注入或者注入且沉积的材料表面改性方法。以期部分解决上述问题。

2、电子聚焦电场增强辉光等离子体离子注入方法过程及基本机理

电子聚焦电场增强辉光等离子体离子注入方法的基本原理如图 1 所示,首先,完成对系统的预先抽真空,通过粒子获得系统 I 获得气态或者汽态的注入或者注入且沉积用

的粒子,然后利用馈送管路系统,将注入或者注入且沉积用粒子的离化和注入或者注入且沉积,导入到离化、注入、注入且沉积系统 II,在系统 II 中,有一个离化和注入或者注入且沉积工作室的点状阳极,在离化和注入或者注入且沉积工作室中,点状阳极接电源的正极和大面积阴极或大面积阴极靶台接电源负极,两者之间构成带有电子聚焦作用的电场,当电压大于起辉电压时,阳极和阴极之间产生辉光放电,工件附近的等离子体中的离子被加速,电子被驱离,形成等离子体鞘层,离子通过鞘层后被加速,注入到工件内部或者沉积到工件表面,完成离子注入或者注入且沉积的材料表面改性过程。

当注入或者注入且沉积用元素中,至少有一种是固态物质时,首先要获得该固态物质的汽化粒子,然后再采用带有绝热或者有额外加热的馈送管路系统,将粒子导入到离化和注入或者注入且沉积工作室;对于在工作温度本身即为气态或者气态的注入或者注入且沉积用元素,通过流量控制直接导入,注入或者注入且沉积用粒子导入过程中,可以采用其他气体如惰性气体作为载气,同注入或者注入且沉积用粒子一起供给给离化和注入或者注入且沉积工作室,从而帮助注入或者注入且沉积用粒子的馈送,并提供离化所需要的气压,调节注入剂量,以保证随后的离化和注入或者注入且沉积过程的稳定。

在导入注入或者注入且沉积用粒子后,注入或者注入且沉积用粒子的离化、注入、注入且沉积在离化和注入或者注入且沉积工作室中进行,离化和注入或者注入且沉积工作室是一个至少包括一个小面积的点状阳极和至少一个大面积阴极或大面积阴极靶台如工作靶台的腔体构成,小面积点状阳极如空心阳极极接电源的正极并能接地,大面积阴极或大面积阴极靶台接电源负极,点状阳极和阴极或大面积阴极或大面积阴极靶台之间,形成一个对电子进行聚焦的电场,点状阳极和阴极或大面积阴极或大面积阴极靶台间的电压大于起辉电压时,发生气体的辉光放电,利用对电子进行聚焦的电场将离化和注入或者注入且沉积工作室里面的气氛离化,进行聚焦增强辉光等离子体气体放电,在离化和注入或者注入且沉积工作室内部形成增强了的自辉光等离子体,在点状阳极和靶台间电场的作用下,离子被加速注入或者注入且沉积到工件表面,形成对工件的表面改性。由于电子向点状阳极如空心阳极聚集,提高了粒子的离化率,因此可以不需要其他离化措施,但是,可以同时采用如射频等辅助离化措施。

在点状阳极如空心阳极和靶台之间施加的电压可以根据真空度的不同而不同,但是必须大于起辉的临界电压,电压范围可以在 0.5kV—100kV。

中性原子到达工件沉积到表面,也参与工件的表面改性过程。

本方法因为采用了小面积阳极如空心阳极辉光放电结构,而且采用了阳极电子聚焦的方法对蒸发的蒸汽元素或导入的其他汽态、气态元素进行电离,从而提高了汽态或者气态元素的离化率,不需要辅助的等离子体激发装置就可以直接通过工件的负偏压进行离子注入或者注入且沉积。

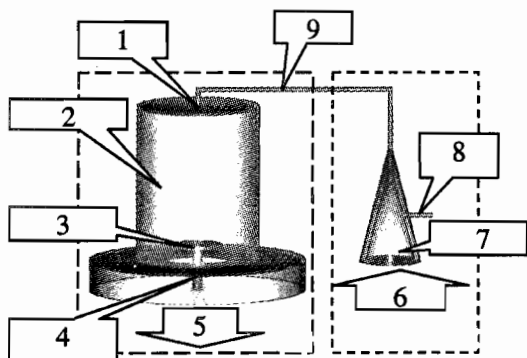


图1 电子聚焦电场增强辉光等离子体离子注入原理示意图。I 粒子获得系统; II 离化、注入、注入且沉积系统; 1: 气体馈送管道出口; 2: 注入-沉积腔体; 3: 工件靶台; 4: 高压电极; 5: 真空抽气系统; 6: 源加热系统; 7: 加热腔体; 8: 载气馈送阀; 9: 馈送管道

3、电子聚焦电场增强辉光等离子体离子注入应用试验

实验所要的注入元素为硫,其工作过程大致如下: 首先将硫置入真空加热腔体中,抽真空至背底真空到 2×10^{-3} Pa,通过源加热系统将硫在加热腔体里面蒸发,通过馈送粒子控制系统和馈送管道,从馈送管道出口进入注入-沉积腔体;维持腔体参考真空度在 0.032 - 0.01 Pa,峰值电压为 15KV 的脉冲负高压通过高压电极施加在工件靶台上,工件位于工件靶台上,在高压的作用下,硫原子被离化、注入。负高压的频率是 100HZ,脉宽 250 微秒。采用硅片作为工件,采用 X 射线光电子能谱 (XPS) 剥层分析的方法分析了注入后的效果,并采用 TRIM,对注入效果进行了模拟。

4、试验结果分析与模拟对比

电子聚焦电场增强辉光等离子体离子注入硫元素时,注入腔体中辉光情况随着供气量的不同而不同,图 2 给出了不同气压下,

电子聚焦电场增强辉光等离子体离子注入时,辉光放电的照片。图 2a 是在比较低的气压下进行注入的情况,在相对较低的气压下,辉光放电各个放电区域分明,从图 2a 可明显看到,辉光放电最明亮的区域不再是负辉区,而是一个压缩变形了的正辉区,证明此处确实有电子聚焦和离化增强的现象。且,从图中辉光的亮度,再考虑到等离子体对电场分布的影响,可以看出,电子在阳极出口处即正辉区实现聚焦,在该聚焦的电子作用下,正辉区最为明亮,对该结构的电场计算也表明了该聚焦电场的正确性[6]。

图 2b 中,由于气压的升高,等离子体密度升高,等离子体对阳极与阴极之间电场的影响增大,引起电场的再分不。电子聚焦现象不再明显,不过,从图上仍能够看到,电子在粒子出口处,对粒子的离化作用。

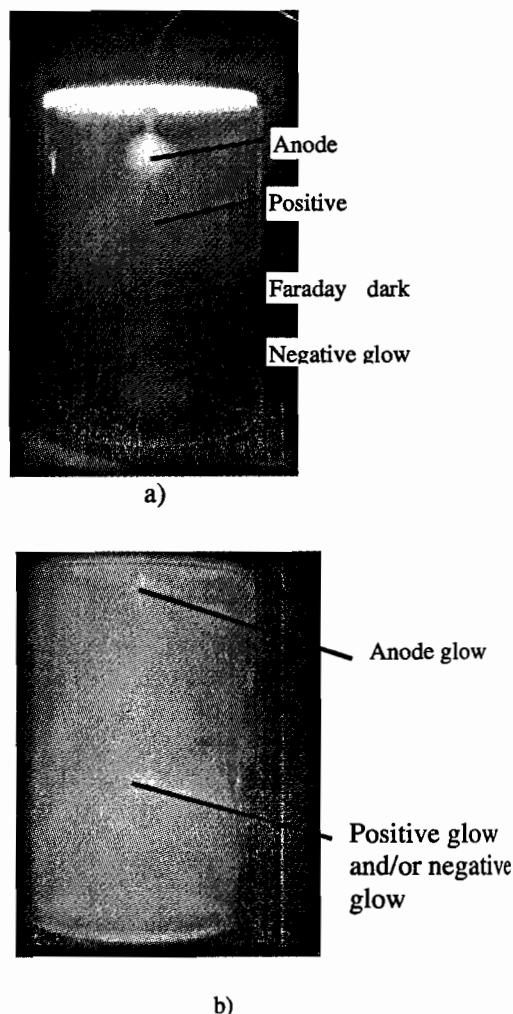
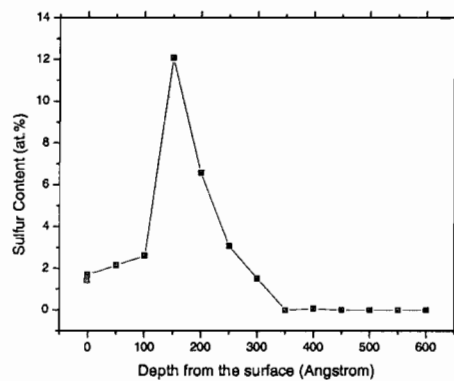


图2 电子聚焦电场下的辉光等离子体放电。a) 低气压下的放电; b) 高气压下的放电

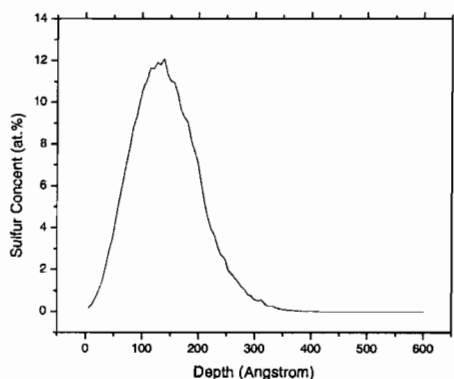
对试样进行了元素深度分布的 XPS 分析,结果如图 4a 所示,从图 4a 中明显看出,硫元素在硅片深度上呈近似高斯其高斯峰值

在 150 埃附近,这与采用 TRIM 程序模拟出来的结果相当。在采用 TRIM 模拟时,硫所带的平均电荷取 1,计算点数为 99999,其中剂量按照测试所得到的剂量进行了折算。

从图 3、图 4 可以看出,电子聚焦电场增强的辉光等离子体离子注入,是一个简便的、有效的离子注入新方法。



a)



b)

图 3 硫元素的注入结果: a): XPS 深度分布测量结果; b): TRIM 模拟结果

5、结论

本文介绍了一种新型全方位注入沉积方法——电子聚焦电场增强辉光等离子体离子注入的基本原理。采用该方法能够实现电子聚焦,在聚焦电子的作用下,等离子体放电增强。在硅片上注入硫的实验表明,该方法不需要额外的等离子体发生装置,就能够实现硫元素的离子注入。XPS 测量得的硅片上硫元素的深度分布表明,硫在硅片上的深度分布为高斯分布,结果与通过注入模拟软件 TRIM 模拟的结果吻合,表明了该方法的可行性。

参考文献

- [1] 唐伟忠. 薄膜材料制备原理、技术及应用[M]. 第二版. 北京: 冶金工业出版社, 2003.
- [2] J. R. Conrad, J. L. Radtke, R. A. Worgala, and N. C. Tran, J. Appl. Phys. 62, 4591(1987).
- [3] Conrad, 专利号: 4764394, 专利名称: 等离子体源离子注入方法与装置, (Conrad; John R., Method and apparatus for plasma source ion implantation, United States Patent, 4,764,394, August 16, 1988)
- [4] André Anders, Appl Phys. Lett. 76(1), 2000, 28-30
- [5] J. Tendys, J. Donnelly, M. J. Kenny and T. A. Pollock. Appl Phys. Lett. 53(22). 28 November 1988, 2143-2145
- [6] Liuhe Li, Paul K. Chu. the 8th International Workshop on Plasma-based Ion Implantation and Deposition 12/9-22/9, 2005, p31