

离子注入物理在微电子技术中的应用

张延曹 袁玄义 王永昌

(空军导弹学院基础部 陕西 713800)

微电子技术是在半导体芯片上采用微米或亚微米级加工工艺制造微小型电子元器件和微型化电路的新兴技术. 这一技术是现代高科技腾飞的翅膀, 是现代信息技术的基石, 是世界新技术革命的先导.

60年代以来, 微电子技术的发展突飞猛进. 宇宙航行、电子对抗和各种功能的电子计算机的发展, 对半导体器件和电路的制造工艺提出了更高要求, 如小尺寸和高集成度等, 原有的生产工艺限制了半导体器件和电路性能的进一步提高, 已远远不能满足这些要求. 离子注入技术, 正是为适应这种需要而发展起来的一种半导体掺杂新工艺. 采用离子注入技术, 可使集成电路的速度大为提高, 它的发展, 推动了半导体器件和电路的迅速发展, 使半导体生产进入了超大规模集成电路的时代.

离子注入物理主要研究注入离子在靶材料中的射程分布、能量淀积分布以及背散射、辐射损伤、增强扩散等问题. 根据上述理论可以计算、推测离子注入技术中具体的工艺参数. 例如, 根据射程分布的 LSS 理论, 可以估算入射离子在靶中的浓度的结深; 或者由所需的掺杂浓度和结深, 确定入射离子的能量和剂量.

近十几年来, 在离子注入物理基础上发展起来的离子注入技术的应用越来越广泛, 已经从半导体的研究扩展到金属、绝缘体、磁性材料、化学和医学等各领域. 其中以离子注入技术在半导体中的应用发展最快, 成效也最为突出; 在半导体器件生产中, 离子注入技术与常规的掺杂工艺相比, 具有其独特的优点, 如: 注入的杂质不受靶材料溶解度的限制; 离子注入可以精确地控制掺杂杂质的数量和掺杂深度并且不会产生象热扩散那样严重的横向扩散; 离子掺杂可使大面积均匀且杂质纯度高等等. 正因为这样, 离子注入工艺取代了一部分扩散工艺,

成为半导体和集成电路生产中所使用的基本工艺之一, 它给半导体器件和集成电路的设计带来很大的方便和灵活性, 目前, 已利用离子注入技术设计和制造了许多新型的器件和电路. 这些新型器件和电路具有高速度、高成品率、高集成度和工艺流程简单等特点.

一、离子注入在双极器件中的应用

双极器件指电子和空穴“两种极性”的载流子都参与电流传输的半导体器件, 常见的器件有二极管、三极管……等. 目前的制作工艺中, 通常采用扩散与离子注入相结合的方法或全离子注入的方法得到一定的掺杂杂质浓度分布, 形成器件的基区、发射区的集电区等. 在微波三极管的制作工艺中, 由于离子注入的可控性和横向扩散小的特点, 用离子注入可以将基区做得很薄(如 $0.05 \sim 0.1 \mu\text{m}$, 见图 1), 线条可以

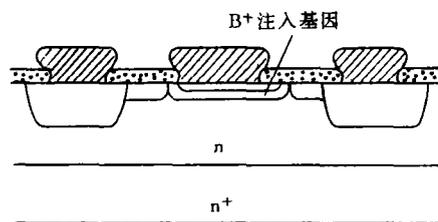


图 1 高频低噪声微波晶体管截面图

做得更细, 发射结和集电结面积更小, 从而使三极管的结电容很小, 提高了微波晶体管的截止频率和产品成品率. 如美国休斯实验室采用全离子注入制作的 n-p-n 微波三极管, 其频率可达 10GHz. 双雪崩极管 (IMPATT) 主要用作微波振荡源, 但用扩散工艺生产这种二极管的难度大, 成品率低. 用离子注入可以精确地控制掺杂杂质的浓度分布, 从而制备出 IMPATT 二极管所需要的特殊的 p^+pnn^+ 和 p^+nn^+ 结构(如图 2 所示). 电荷耦合器件是 1970 年由贝尔实验室提出的一种新颖的器件, 它是通过控制电荷移动来传输信息的半导体微型电路, 这种

电路本身具有低功耗、高集成度、制备简单和衬底材料通用性好等特点,一经问世就得到很快发展,广泛应用在存贮、图象转换、传感、光电探测、信号模拟和信息处理等方面.这种器件的缺点是速度慢,但采用离子注入势阱和离子注入埋沟可以很好地解决这一问题.目前通常采用这两种方法来改进器件特性.

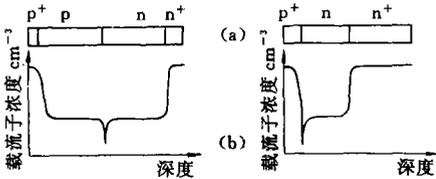


图2 IMPATT 二极管几何结构(a)和掺杂浓度(b)

离子注入在双极集成电路中的应用,主要用于制备高电阻.在大规模集成电路中,高电阻所占的面积比例很大,由于离子注入较容易控制低浓度的掺杂,在相等的面积上,用离子注入制备的电阻比热扩散法制备的电阻阻值高得多,因此用离子注入制备高电阻显得非常重要.

二、离子注入 MOS 电路

MOS 器件自从 60 年代初问世以来,取得了很大的进展,特别是在实现低功耗、高速度和高集成度方面取得了令人瞩目的成就.

离子注入技术在 MOS 器件上的应用,主要是近表面低掺杂.这种工艺用热扩散技术难以做到,即使做到也很难重复.离子注入可以提供精确控制而又能重复的低浓度浅掺杂,因此在 MOS 器件沟道掺杂上获得了普遍的应用.

MOS 场效应晶体管(MOSFET)的基本结构如图 3 所示,它是以一块杂质浓度较低的 n 型(或 p 型)硅片作为衬底,在上面作两个高掺杂的 p^+ (或 n^+) 区作为源极(S)和漏极(D),在两个 p^+ 区之间的硅表面上覆盖一薄层 SiO_2 ,在 SiO_2 上蒸一层金属 Al 作为栅电极.用热扩散法生产 MOS 管是在源、漏形成之后再配置栅电极.在制造过程中,为了避免光刻、扩散等工艺引起栅与源、漏连接不上的现象,保持器件有较高成品率,在模版设计时,就必须使栅电极和

源、漏区有意识地做成部分重叠(如图 4 所示).

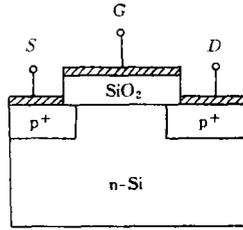


图3 基本的 MOSFET

结构

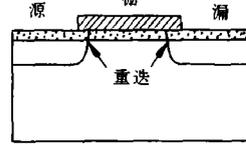


图4 热扩散法制作的

MOSFET

但这种做法在栅漏间会有较大的寄生电容,使器件的性能变坏.与扩散法制造 MOSFET 工艺过程相反,采用离子注入技术的自对准 MOS 是先做成栅电极,并以栅作为离子注入的掩膜,从而形成离子掺杂的源、漏区(见图 5),栅极和源、漏区的相对位置就可以不靠掩膜的人为对准,而是在离子注入时自动对准.这种方法使上述的栅源、栅漏重叠可以小到无足轻重的程度.由于垂直入射的离子在掩膜边缘的横向扩展很小,所以在模版的设计上没有必要留过多的余地,漏面积可以缩小,也减少了漏漂移电容,改进了高频特性.另外,通过栅和源、漏的自对准,也可以提高器件的成品率.

离子注入除了应用于制作 MOS 器件,也广泛应用在 MOS 集成电路上.为了使 MOS 器件与双极性器件能够匹配使用,制成相容性电路,或适应某些低功耗、低电压的需要(如手表电路),必须降低 MOS 器件的阈值电压.离子注入降低 MOSFET 阈值电压的工艺是简单易行的.如图 6 所示,在栅氧化膜形成之后,通过薄的氧化层进行沟道区域低剂量的注入,然后经过适当退火便能达到此目的. CMOS 倒相器由 n 沟增强型管和 p 沟增强型管子构成,其结构如图 7 所示.由于 CMOS 电路具有低功耗和低工作电压的特点,在宇宙航空、遥控遥测、电子计时装置和电子计算机存储器等方面得到了广泛的应用.离子注入技术在 CMOS 电路上的应用,除了降低阈值电压之外,还有 p 型隔离阱的制作. CMOS 电路要求 p 阱的浓度必须精确控制,常规扩散工艺重复性差,无保

证. 而离子注入容易穿透薄氧化层, 保证了掺杂的重复性不受衬底表面在工艺处理过程中所生长的薄 SiO_2 层的影响; 并且离子注入能精确控制掺杂量, 使 p 阱浓度保证有良好的重复性和准确性; 另外, 利用注入离子的辐射增强扩散效应进行驱入扩散, 可以节省时间、提高效率.

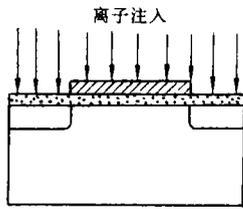


图5 离子注入自对准
MOSFET

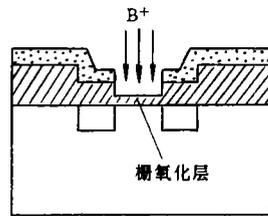


图6 离子注入沟道区域
降低阈值电压

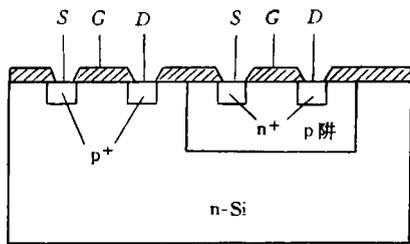


图7 CMOS 结构截面图

离子注入技术在 MOS 器件和电路上的应用种类繁多, 各具特色, 如: 在 E/DMOS, V-MOS、SOSE/DMOS 电路中都使用了离子注入技术. 目前集成电路正在向着大规模和超大规模、高速度和低功耗的方向发展, 离子注入技术在 MOS 电路上的应用会更加广泛, 采用离子注入技术将会研制出更多的新型器件和电路.

三、化合物半导体离子注入

利用离子注入物理与注入技术来研究化合物半导体材料的性质, 具有其特有的优点. 这一技术制备的微波场效应器件、红外器件、激光器件、发光和光电器件等, 取得了令人瞩目的成就. 特别是在 (GaAs 砷化镓) 微波场效应器件的基础上, 研制成功了比硅集成电路速度快得多的高速集成电路, 这一领域的研究, 对红外技术、计算机、激光和集成光路的研制, 都具有重要意义.

化合物半导体由两种或两种以上的元素构成, 离子注入中常用的有 II—VI 族、III—V 等双元素化合物, 以及某些三元素固熔体 (如 GaAsP、HgCdTe) 和四元固熔体等. 化合物半导体种类繁多, 其跃迁形式和禁带宽度各不相同, 因而表现出不同的物理特性. 能够作为化合物半导体掺杂杂质用的元素种类也很多, 如 II 族、III 族、IV 族和 V 族元素等.

化合物半导体材料 (如 GaAs) 具有大的禁带宽度和相当大的电子迁移率. 用 GaAs 做成的半导体器件最高工作温度可达 400°C , 由于材料电子迁移率大, 可以做成高速器件和高速集成电路. 离子注入在 GaAs 场效应器件和集成电路中的应用, 主要有两个方面: 一是沟道掺杂, 即采用 Si、Se 等注入半绝缘 GaAs 中, 以形成 n 型薄层, 代替常规工艺中的 n 型外延层; 二是离子注入重掺杂形成 GaAs 场效应器件的源区和漏区, 从而得到低的欧姆接触电阻. 离子注入在其他化合物半导体中的应用种类也很多, 如: 用 Zn 离子注入 GaAsP 制出的发光二极管, 要比扩散工艺制出的二极管发光效率高, 且批次重复性好; 用 Al 离子或汞注入 $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ 制备红外探测器等.

由于化合物半导体是由两种以上元素构成的, 晶体结构比较复杂, 这就使得对化合物半导体进行掺杂要比元素半导体 (如 Si、Ge) 复杂得多, 采用常规的高温扩散工艺会遇到更多困难, 若采用离子注入技术就比较方便易行. 由于离子注入技术是把向衬底进行定量掺杂和高温处理两个过程分开进行的, 因此, 它也防止了衬底化合物半导体材料的热分解或杂质补偿以及杂质外扩散等问题的发生. 随着化合物半导体材料和离子注入问题研究的进一步深入, 化合物半导体离子注入技术的应用前景将更为广阔.

离子注入物理和离子注入技术作为一门新学科和一种新工艺, 在微电子技术中的应用正处于发展和推广阶段, 要深刻了解离子注入技术的特点, 必须结合半导体器件研制和生产的具体过程. 离子注入这一工艺的优越性是主要的, 但对于某些具体情况来说, 它也存在着问题

热检测器——靠温度来感受光的仪器

谢谄成 王代殊 编译

(北京工业大学应用物理系 北京 100022)

众所周知,以光辐射、光电导性或光生伏打等效应为基础而制成的一类检测器称作量子检测器,而这里要介绍另一种重要的光电检测器——热测器的功能.热测器通过一个较间接的过程感受光.当物质吸收了光能以后,温度上升,通过温度的变化来感受光,就好比我们从太阳光中感受到温暖一样.

图1是理想的热测器响应度与理想的光量子检测器的比较.由图可以看出,热测器最显著的特点,是在一个很宽的波长范围内,其响应度 R 不随波长而变化.而量子检测器的 R 则是随着波长的增加而增加,直至截止点,响应度骤降至零.

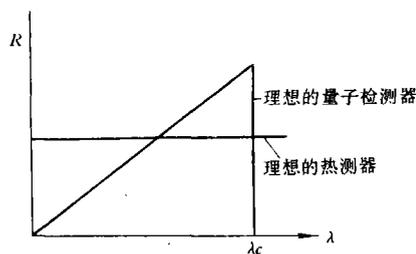


图 1

量子检测器的输出正比于它接收的光子的数量.假设量子效率为常数,则响应度随波长线性地增加.

然而,对热测器来讲,辐射功率1瓦就是1瓦,与波长无关,所以只要吸收的能量保持不变,响应度就不随波长改变.也就是说,热测器的输出由所吸收能量而引起的温度变化决定,而不是由光子数目来决定的.

和缺点.但离子注入在微电子技术中的应用是广泛且富有成效的,并愈来愈显示出强大的生

一、温差电检测器

热测器的发展先于量子检测器,甚至可追溯到十八世纪末.当时威廉姆·谢赫尔用棱镜和水银温度计发现了红外辐射.而大约到1830年,意大利物理学家利奥波德·诺比利等制造出第一座温差电堆,并利用它去研究发射光谱.这是第一个精确的热测器.

温差电堆由一批温差电偶一个个排列相连组合而成.这样可以有较好的温度灵敏性.

1821年俄国出生的德国科学家约翰尼斯·塞贝克发现,如果两种不同的金属导线首尾相连而形成线圈,当一个结点的温度与另一个不同时,线圈内就出现电流.这就是温差电偶.使温差电偶环中电流流动的内电压与两个结点间的温差成正比.这个比例常数称为塞贝克系数.

一般不同金属结合型的塞贝克系数在室温下只有几微伏/摄氏度,而铋和锑金属的结头的塞贝克系数可高达100微伏/摄氏度.温差电偶塞贝克系数越高,制成的热测器越好,因为它对微小温度变化也能灵敏地反应.

图2描写一个简单的为光电检测器而设计的温差电偶.吸收体吸收了辐射能量后,在温差电偶的测量结点处发生温度变化.而另一个结点保持在一个已知的温度(例如冰的熔点温度)上作为参考.检测元素温度的变化,导致两个结点的温差,最终由微伏计上的电压变化 ΔV 反映出来.

温差电检测器的响应特性主要依赖三个因
命力.这一技术的应用,使得半导体器件和集成电路的研制取得了飞速发展.