

形成优质 Si^+ 注入 SI-GaAs 层的研究*

李国辉 韩德俊 陈如意 姬成周 王策寰** 夏德谦*** 朱红清

(北京师范大学低能核物理所 北京 100875)

摘要 在 GaAs 集成电路研制中需要高电激活率、高迁移率的 n 型薄层。本文研究了 Si^+ 注入 GaAs 形成的 n 型层光电特性与材料参量、注入和退火条件的关系。结果表明材料生长中的杂质污染和缺陷对注入层电特性有直接影响。材料或退火过程中 As 和 Ga 的原子比 $[\text{As}]/[\text{Ga}]$ 稍大时,注入层中电激活率和迁移率都高。实验还证明, $^{29}\text{Si}^+$ 注入时 BF^+ 束流的影响会使注入层电激活率和迁移率下降。本文指出注入时剂量不宜过大,白光快速退火时温度不宜过高,一般在 960°C 5 秒退火为佳。

本文选择优质的 SI-GaAs 材料,注入时消除 BF^+ 影响,选用合适的剂量和最佳退火条件,得到了优质的离子注入层。在低剂量时,电激活率为 80—100%,迁移率为 $3000\text{--}4000\text{ cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$ 。用这种 n 型薄层制作了性能良好的 MESFET 器件。

PACC: 7280E, 6170T

目前 GaAs IC 向高频高速方向发展,要求器件尺寸不断减小,因此必须使用全离子注入平面工艺。离子注入和快速热退火已经成为必不可少的技术之一。80 年代以来, GaAs 离子注入和快速热退火技术迅速发展。 Si^+ 较低剂量时 ($3\text{--}8 \times 10^{12}\text{ cm}^{-2}$) 注入 SI-GaAs 白光快速退火的电激活率可达 60—80%,迁移率达 $3000\text{ cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$ 以上^[1,2]。R. A. Morrow 等人讨论了 B 和 EL2 能级对 LEC 生长 SI-GaAs 注入 Si 后退火电激活率的影响^[3,4]。也有人研究了 Si + As 双注入提高注入层电激活率制作高浓度 n 型的问题^[5]。Kwang. S. Seo 等人研究了用二步快速退火提高注入层迁移率,得到了良好的结果^[2]。本文主要研究在 $^{29}\text{Si}^+$ 低剂量注入的情况下,注入层特性和选用的材料、注入束流条件及注入后快速退火条件的关系,从中找到影响注入层质量的主要因素,使注入层达到了较高水平,制作出良好的 MESFET 器件。

1 实验方法

选用不同单晶锭 LEC 生长的 SI-GaAs 衬底材料。将样品做表面处理后,用 100—180keV $3\text{--}8 \times 10^{12}\text{ cm}^{-2}$ $^{29}\text{Si}^+$ 注入,选用 $800\text{--}1050^\circ\text{C}$ 5 秒在 Si 贴面的情况下氮气保护白光快速退火。退火后样品用范德堡尔法测量了注入层的电特性,并用光致发光测量

* 国家自然科学基金资助项目

** 中国科学院半导体研究所材料开放实验室

*** 机电部 55 所

本文 1992 年 4 月 30 日收到,修改稿 1992 年 11 月 30 日

了注入层的发光谱,用发光谱分析了影响电特性的机理。

2 实验结果与讨论

2.1 不同材料衬底对注入层特性的影响

2.1.1 不同材料与注入层特性的关系

选用四组电阻率 $\rho > 5 \times 10^7 \Omega \cdot \text{cm}$, $\mu = 4500-6000 \text{ cm}^2/\text{V} \cdot \text{s}$ 但不同炉生长的单晶材料,用 120—180keV $4-8 \times 10^{12} \text{ cm}^{-2}$ $^{29}\text{Si}^+$ 注入,注入后样品在 900—1050°C 间 5 秒白光快速退火,相比的几种材料注入退火同时进行,保证条件完全一致。图 1 和表 1 分别示出四种样品特性的比较。从图 1 中看出,样品 I 的迁移率大于 $3000 \text{ cm}^2/\text{V} \cdot \text{s}$, 激活率在 960°C 5 秒退火时最高达到 85%。但样品 II 的迁移率在 $2100-2900 \text{ cm}^2/\text{V} \cdot \text{s}$, 激活率也在 960°C 5 秒退火时最高为 68%。在同一个退火条件下样品 II 的薄层载流子浓度 n_s 和迁移率 μ_H 比样品 I 都低,样品 I 优于样品 II。从图 1 中还看到快速退火的最佳条件都是在 960°C 5 秒。当退火温度高时, Si 替 As 位成为浅受主的可比性增加,从而补偿了施主,降低了 n 型载流子浓度,所以退火温度不应太高。

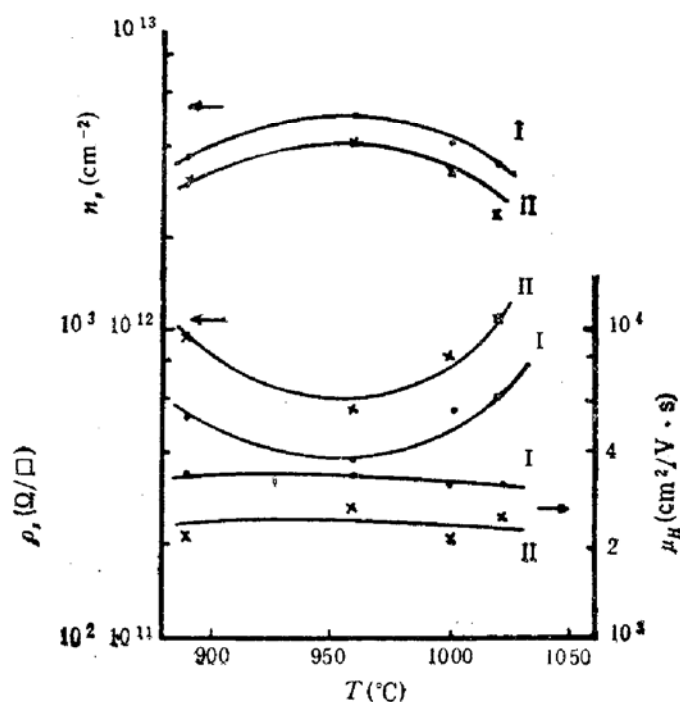


图 1 样品 I, II 在不同退火温度电特性比较
120keV $6 \times 10^{12} \text{ cm}^{-2}$ ^{29}Si 注入 5 秒快速退火。

表 1 样品 III IV 180keV $^{29}\text{Si}^+$ 注入电特性比较

样 品	Si 注量 (cm^{-2})	$n_s(\text{cm}^{-2})$	$\rho_s(\Omega/\square)$	$\mu_H(\text{cm}^2/\text{V} \cdot \text{s})$
III	4×10^{12}	2.4×10^{12}	691	3657
IV	4×10^{12}	5.2×10^{12}	3878	315
III	6×10^{12}	3.7×10^{12}	549	3136
IV	6×10^{12}	1.8×10^{13}	849	401
III	8×10^{12}	5.3×10^{12}	350	3439
IV	8×10^{12}	1.0×10^{13}	351	1752

表 1 是材料 III 和 IV 在同一注入和退火条件(960°C 5 秒)下的电特性比较。样品 III 的电激活率 60—66%, 迁移率 $3000-3600 \text{ cm}^2/\text{V} \cdot \text{s}$, 形成了较好的注入层, 而样品 IV 却出现了超过 100% 的电激活而且迁移率极低的异常现象, 这种注入层是做不出器件的。

以上实验结果表明,对于不同材料就会有不同的注入层特性。材料 I. II. III 都可以用来做器件,但要形成优质的注入层必须选用材料 I 来做注入。因此材料的生长和选择

与注入层质量有着直接的关系。

2.1.2 SI-GaAs 生长中杂质污染是使注入层质量下降的主要因素

为了研究注入层特性与材料生长条件的关系,本文和生产厂家合作选用热解氮化硼和 SiO_2 两种坩埚,低掺 Cr 和非掺 Cr 不同生长工艺制作了 SI-GaAs 单晶。对以上不同单晶在 960°C 5 秒快速热处理前后用 1000V 电压测量漏电的大小来检测稳定性。并对不同单晶用 150keV $4-6 \times 10^{12}\text{cm}^{-2}$ $^{29}\text{Si}^+$ 注入, 960°C 5 秒快速退后测量了电特性,结果示于表 2 中。

表 2 离子注层特性与材料生长关系表

片号	生长条件		电 参 数		漏 电 流 $\mu\text{A}/1000\text{V}$		注入层特性		备 注
	掺杂剂	坩埚	μ ($\text{cm}^2/\text{V} \cdot \text{s}$)	$\rho(\Omega \cdot \text{cm})$	退火前	退火后	电激活率	μ ($\text{cm}^2/\text{V} \cdot \text{s}$)	
1#(头)		PBN	4450	4.7×10^7			70%	3384	
1#(中)							82%	2591	
1#(尾)			6090	1.4×10^7			83%	2806	
2#	Cr 1×10^{-5}	PBN	5100	2.1×10^7	0.1	2.4	76%	3334	†
3#	Cr 1×10^{-4}	PBN	5500	2.4×10^7	0.5	10.1	80%	2327	
4#		PBN	5105	9.6×10^6	0.1	2.6	113%	1324	Ga 源沾污
5#	Cr 4.7×10^{-5}	PBN	2500	10^7	0.3	1.5	205%	1550	设备沾污
6#		SiO_2	4040	2.9×10^7	<0.1	0.9	70%	3368	

从表 2 中看 1# 样品头、中、尾部电激活率在 70—83%, 迁移率为 $2591-3384\text{cm}^2/\text{V} \cdot \text{s}$, 都是较好的单晶。说明只要严格控制生长工艺, 无论是 C 含量较高的头部, 还是结构缺陷相对较多的尾部都是好的单晶材料。

关于 Cr 的影响从 2#、3# 样品看出, 1×10^{-5} 的 Cr 含量对注入层影响不大, 当 Cr 含量达到 1×10^{-4} 时, 材料稳定性差, 注入层电激活率高。此外, 材料原有的迁移率和电阻率的少量差别对注入层电特性没有直接影响。实验看到 SiO_2 坩埚比热解氮化硼坩埚的效果较好。

4# 和 5# 样品因在生长中源或设备有沾污, 从而产生了注入层电特性超激活和迁移率低的异常现象。

从中看到保证设备清洁和高纯原料是生长优质单晶、保证注入层质量的关键。

2.1.3 材料中原子比 $[\text{As}]/[\text{Ga}]$ 较大时, 注入层电激活率较高

对材料 I、II、IV 做了光致发光测量。选用 180keV $1 \times 10^{13}-5 \times 10^{13}\text{cm}^{-2}$ $^{29}\text{Si}^+$ 注入, 在 960°C 5 秒退火后, 77K 下测量了光致发光谱, 结果示于图 2。

从中看到对于注入层电激活率高、迁移率高的样品 I 在 $2 \times 10^{13}\text{cm}^{-2}$ 剂量注入时出现了 1.362eV 的 F 发光峰^[6], 此峰为 $(\text{Si}_{\text{Ga}}-\text{V}_{\text{Ga}})$ 发光峰, 说明材料中有较多的 V_{Ga} , 使

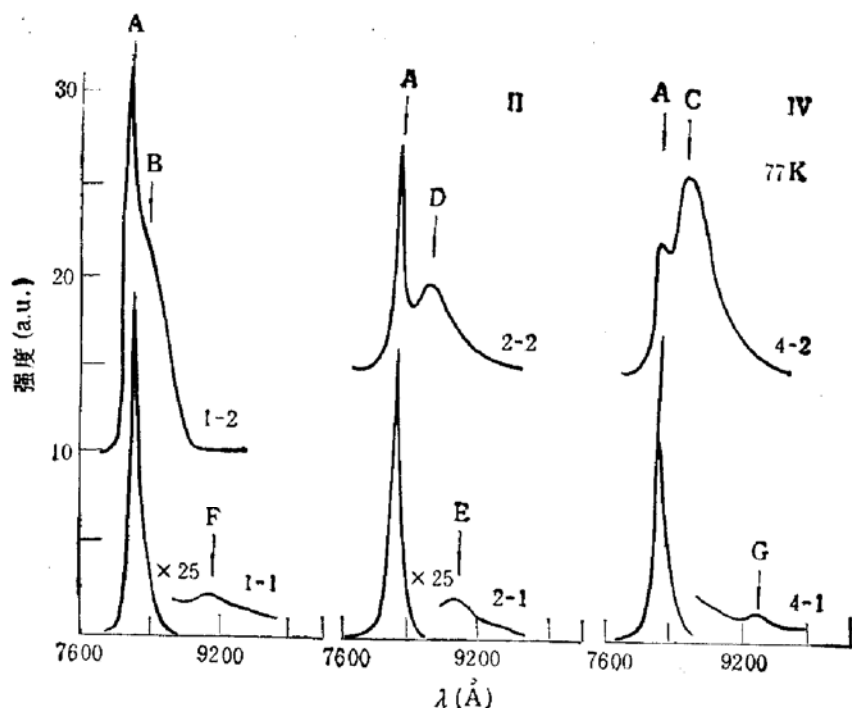


图2 材料 I、II IV 的光致发光谱

(180keV Si⁺ 注入 960°C 5 秒退火)

1-1 $2 \times 10^{13} \text{cm}^{-2}$ 2-1 $1 \times 10^{13} \text{cm}^{-2}$ 4-1 $1 \times 10^{13} \text{cm}^{-2}$ 1-2 $4 \times 10^{13} \text{cm}^{-2}$
 2-2 $5 \times 10^{13} \text{cm}^{-2}$ 4-2 $5 \times 10^{13} \text{cm}^{-2}$

A 峰 (1.508eV) 带边峰 E 峰 (1.401eV) ($V_{As}-Si_{As}$) B 峰 (1.484eV) ($Si_{Ga}-C_{As}$) F 峰 (1.362eV) ($Si_{Ga}-V_{Ga}$) C 峰 (1.456eV) 待研究 G 峰 (1.325eV) 与 B、Si 相关。 D 峰 (1.446eV) (Ga_i-Si_{As})

Si 替 Ga 位的几率增加。在较高剂量 $4 \times 10^{13} \text{cm}^{-2}$ 时, 1.484eV B 发光峰增加, 这是 ($Si_{Ga}-C_{As}$) 施主受主复合发光峰^[7], 此外发光谱再无其他杂峰。说明有 Si_{Ga} 施主形成, 单晶性能良好, 形成了高质量注入层。

从激活率较低的样品 II 发光谱看到在 $1 \times 10^{13} \text{cm}^{-2}$ 较低剂量注入时出现了 1.401eV 的 E 发光峰, 这是 V_{As} 和 Si_{As} 络合物发光峰^[6]。说明在此材料中 V_{As} 较多, 使 Si 替 As 位形成受主的几率加大, 减小了 Si 作 Ga 的施主并且对施主补偿。在 $5 \times 10^{13} \text{cm}^{-2}$ 高剂量时出现了较强的 1.446eV 的 D 峰, 此峰为 (Ga_i-Si_{As}) 络合物发光峰。说明材料在高剂量注入时产生了 Ga_i 等缺陷, 并且较多的 Si 占 As 位形成 Si_{As} 受主。这种材料中 V_{As} 大于 V_{Ga} , 使激活率下降。

从有超过 100% 激活的异常注入层的样品 IV 的发光谱看到: 在注入剂量较低时 ($1 \times 10^{13} \text{cm}^{-2}$), 出现了 1.325eV 的 G 峰^[8], 说明材料中 B 含量过多, B 占 Ga 位形成 B_{Ga} , 而使 Si 去占 As 位, 使激活率和迁移率下降。在高剂量注入时 ($5 \times 10^{13} \text{cm}^{-2}$), 出现了 1.456eV 异常发光峰, 本文作者认为此峰可能与缺陷 Ga_i 、 As_i 、 V_{As} 、 V_{Ga} 以及其他杂质的发光行为有关。在低剂量时只反应了 B 杂质的发光峰, 而在高剂量时缺陷引起的发光才明显。这说明材料中缺陷和杂质过多, 产生了一些带电行为, 因此使注入层补偿状态发生变化, 电特性出现了超过 100% 激活的现象。并且这些杂质和缺陷形成散射中心, 降低了注入层载流子的迁移率。这种材料无法用来制作器件。

从光致发光和电特性的结合分析可以看到, 衬底材料中 As 和 Ga 的原子比 $[As]/$

【Ga】稍大时注入层的电激活率和迁移率都很好,而对 V_{As} 含量较大的材料激活率和迁移率稍差。对于杂质和缺陷浓度较大的单晶会出现异常的不能制作器件的注入层。为了得到最佳的注入层必须选用样品 I 这种材料做为衬底进行注入。

2.2 离子注入条件的选择

2.2.1 BF^+ 对 $^{29}Si^+$ 离子注入层的影响^[9]

选用 Si 离子注入 GaAs 时,在 $^{28}Si^+$ 注入束流中会带进 $^{28}N_2^+$, $^{28}Co^+$ 的影响,一般注入时不选用 $^{28}Si^+$ 而选用 $^{29}Si^+$ 。在 GaAs 器件研制中经常 Si^+ 注入做有源层,用 B^+ 注入做绝缘。如果在一台注入机中注 Si 也注 B,这样就带来了 BF^+ 束流对 $^{29}Si^+$ 注入束流的影响。表 3 示出同一种样品在不同 BF^+ 束流影响下测出的电特性。

表 3 $^{29}Si^+$ 注入 BF^+ 影响实验结果

(a) 注入条件				(b) 注入条件			
注入机束流 (μA)				注入机束流 (μA)			
B_{11}	Si_{28}	Si_{29}	Si_{30}	B_{11}	Si_{28}	Si_{29}	Si_{30}
0.005	50	3	1.6	1	50	6	10
180keV $5 \times 10^{12} cm^{-2}$				150keV $7 \times 10^{12} cm^{-2}$			
注入层电特性				注入层电特性			
薄层载流子浓度 $N_s (cm^{-2})$	迁移率 $\mu (cm^2/V \cdot s)$	薄层电阻率 $\rho_s (\Omega/\square)$	电激活率 $\eta (\%)$	薄层载流子浓度 $N_s (cm^{-2})$	迁移率 $\mu (cm^2/V \cdot s)$	薄层电阻率 $\rho_s (\Omega/\square)$	电激活率 $\eta (\%)$
4.3×10^{12}	3700	395	86	3.2×10^{12}	2748	729	46
4.8×10^{12}	3207	415	95	3.5×10^{12}	2677	664	50
4.4×10^{12}	3843	378	87	3.2×10^{12}	2314	850	46

从表 3 中看出:当 B 束流较大时, BF^+ 的影响严重,这时电激活率从 86—95% 下降到 46—50%,迁移率从 $3200—3800 cm^2/V \cdot s$ 下降到 $2300—2700 cm^2/V \cdot s$,使注入层的特性变差。其原因主要是 B 的影响。为了研究 B 的影响本人做了 Si 和 B 离子共同注入后一次退火与单 Si 注入的比较。当硼的注入剂量选用 $5 \times 10^{12} cm^{-2}$ 时, B + Si 共注入的样品薄层载流子浓度比单注入 Si 的下降了 $1.03 \times 10^{13} cm^{-2}$,迁移率也从 $3074 cm^2/V \cdot s$ 下降到 $2775 cm^2/V \cdot s$,从中看到 B 的掺入将大大降低注入层的电激活率和迁移率。本文将 B + Si 共注入样品和单 Si 注入样品的光致发光谱比较发现: B + Si 共注入的样品中与 Si_{As} 相关的 $1.40 eV (V_{As}-Si_{As})$ 络合发光峰和 $1.44 eV (Ga_{As}-Si_{As})$ 络合发光峰大大增加。这说明 B 的掺入将使 B 在退火过程中占 Ga 位,从而使 Si 去占 As 位形成 Si_{As} 受主或 $B_{Ga}Si_{As}$ 受主络合物,大大减少和补偿了 Si_{Ga} 的施主,从而使激活率下降。又因 B 的掺入增加缺陷和缺陷络合物,从而使迁移率下降。本文采用了 Si、B 分机注入等措施消除了 BF 对 Si 束流的影响,在低剂量注入的情况下,使注入层的激活率达到 80—100%,迁移率能稳定保持在 $3000—4000 cm^2/V \cdot s$ 。从中看到消除 BF^+ 影响是提高注入层质量的关键之一。

2.2.2 注入剂量的选择

本文将 $180 keV$ $2 \times 10^{12}—5 \times 10^{14} cm^{-2}$ $^{29}Si^+$ 注入 GaAs,注入后 $960^\circ C$ 5 秒退火,注入层薄层载流子浓度和注入剂量的关系示于图 3。

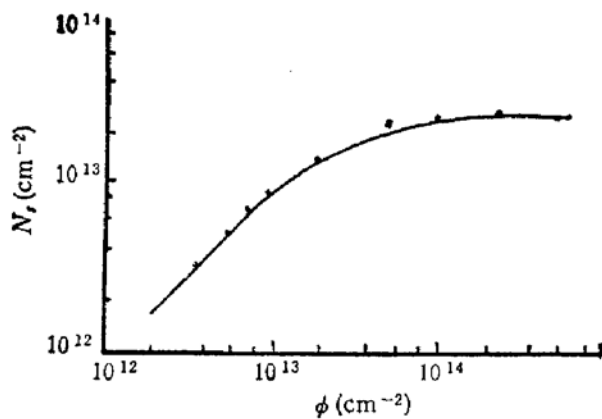


图3 注入剂量与薄层载流子浓度关系
(180keV、960℃ 5 秒退火)

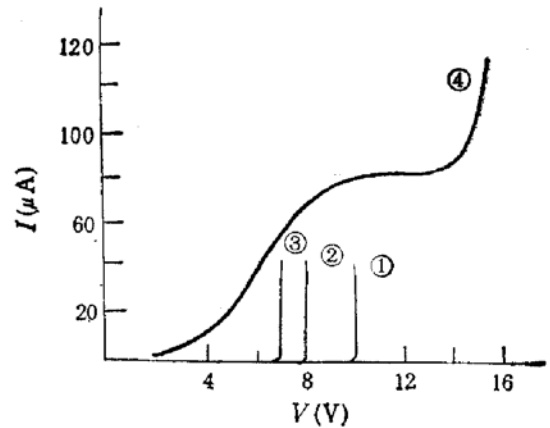


图4 Si^+ 剂量与晶体损伤的关系及击穿特性
(180keV 960℃ 5 秒退火)

- ① $3 \times 10^{12} \text{cm}^{-2}$ ② $1 \times 10^{13} \text{cm}^{-2}$
③ $5 \times 10^{13} \text{cm}^{-2}$ ④ $1 \times 10^{14} \text{cm}^{-2}$

从图3中看到: 在 10^{13}cm^{-2} 以下 n_s 与剂量成线性关系, 激活率 90% 左右。当注入剂量超过 10^{13}cm^{-2} 时, n_s 与剂量偏离线性关系, n_s 趋于饱和。当剂量高达 $1 \times 10^{14} \text{cm}^{-2}$ 时激活率下降到 10—20%。这是因为半导体中掺杂浓度过高使 $E_F = E_c$ 时, 电子处于简并状态。对于 GaAs 当施主浓度为 $1.2 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ 时电子则处于简并状态, 这时施主电离度大大降低, 使电子浓度处于饱和趋势。

当注入剂量低于 $1 \times 10^{13} \text{cm}^{-2}$ 时, 最大施主浓度为 $5.7 \times 10^{17} \text{cm}^{-2}$ 时, 电子没处于简并状态, 从而电离度大, 薄层载流子浓度与剂量成线性关系。当剂量增加到 $2 \times 10^{13} \text{cm}^{-2}$ 时, $N_{D\max} = 1.1 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$, 半导体开始处于简并状态, 施主电离度低, 激活率开始下降。随着剂量的增加晶格损伤严重。图4中看到剂量达 $1 \times 10^{14} \text{cm}^{-2}$ 时两探针测量的击穿电压变坏, 漏电增大, 表面损伤严重。因此硅离子注入的剂量不宜过量。一般低浓度区选用 $2-8 \times 10^{12} \text{cm}^{-2}$, 高浓度区选用 $2-5 \times 10^{13} \text{cm}^{-2}$ 为好。

2.3 最佳退火条件的研究

有关 Si 注入 GaAs 白光退火的研究文献[10]已经做了详细讨论。图5给出了 $^{29}\text{Si}^+$ 注入 GaAs 样品退火温度和时间与电特性的关系。可以看到不同能量和注入剂量的样品均在 930—960℃ 5 秒退火有最大的电激活和最高的迁移率。当温度高于 960℃ 时, 样品的表面载流子浓度下降。在 960℃ 退火时间长于 5 秒也出现了下降趋势。 n_s 与 μ_H 的同步说明在白光快速退火中, 杂质的电激活和晶格损伤恢复基本同步。温度的适当提高和时间的加长可以有利于电激活和损伤恢复, n_s 和 μ_H 随温度和时间而增加, 而当温度过高和时间过长时, Si 占 As 位形成受主的几率增加, 从而补偿了施主, 使 n_s 下降。另一方面由于 GaAs 表面分解使 μ_H 下降, 并且使二探针测量表面击穿电压漏电加大, 注入层特性变坏。因此退火时必须选用最佳退火条件, 一般选用 960℃ 5 秒退火最佳。

2.4 优质注入 n 层的形成及器件制作结果

在以上研究的基础上, 本文选用了优质材料, 最佳剂量和退火条件在消除 BF^+ 影响的情况下对 18 个样品用 180keV $6 \times 10^{12} \text{cm}^{-2}$ $^{29}\text{Si}^+$ 注入, 注入后样品 960℃ 5 秒快速退

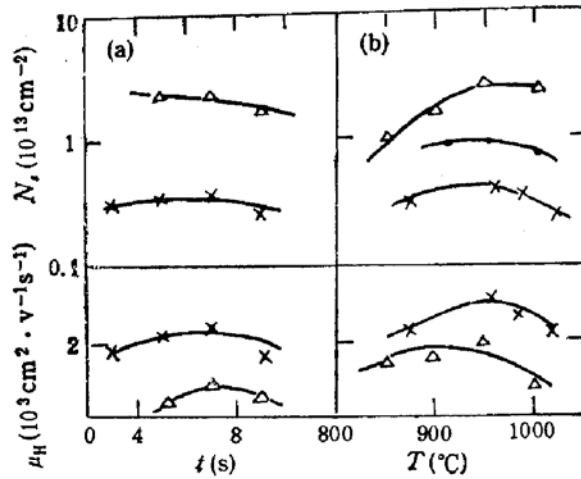


图5 (a) $^{29}\text{Si}^+$ 注入电特性与退火时间的关系 (960°C)
(b) $^{29}\text{Si}^+$ 注入电特性与退火温度的关系 (5秒)

× 180keV, $6 \times 10^{12}\text{cm}^{-2}$ ● 180keV, $1 \times 10^{13}\text{cm}^{-2}$
Δ 80keV, $1 \times 10^{14}\text{cm}^{-2}$

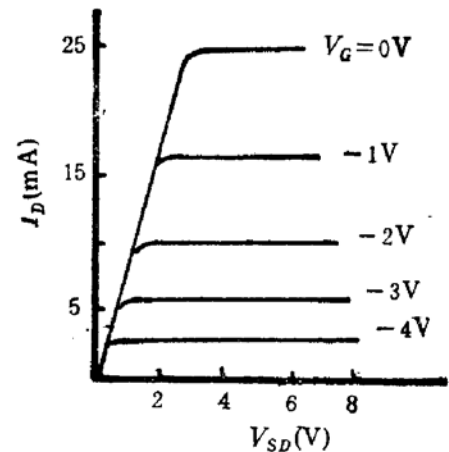


图6 全离子注入源栅面对 MESFET 特性

火,注入层电特性示于表4中。n型薄层中平均激活率为83%,平均迁移率为 $3580\text{cm}^2/\text{V} \cdot \text{s}$ 。本文用这种优质的离子注入层研制出了源栅面对MESFET,其直流特性示于图6。源漏击穿电压8—10V,饱和电流25mA。器件特性良好。

表4 优质注入层样品电特性

样品号	$N_s/10^{12}\text{cm}^{-2}$	$\mu_H/\text{cm}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$	ρ_s/Ω	$\eta/\%$	样品号	$N_s/10^{12}\text{cm}^{-2}$	$\mu_H/\text{cm}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$	ρ_s/Ω	$\eta/\%$
1	5.02	3562	353	84	10	4.90	3661	346	82
2	4.30	3137	459	72	11	4.30	3870	379	72
3	4.46	3135	452	74	12	4.54	3649	365	76
4	5.54	3607	316	92	13	4.19	4131	365	70
5	4.16	3321	458	69	14	5.30	3376	351	88
6	6.40	3821	258	100	15	5.00	3892	325	83
7	5.90	3901	274	98	16	5.61	3418	329	94
8	4.86	3523	369	81	17	5.30	3790	313	88
9	3.90	3516	438	65	18	6.80	3041	302	100

平均激活率83% 迁移率 $3580\text{cm}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$

2.5 结论

(1) GaAs 衬底材料中 [As]/[Ga] 原子比稍大时样品电激活率高。

(2) GaAs 材料中杂质或缺陷过多在注入退火中会引起材料补偿程度的改变,因此可能出现超过100%电激活、低迁移率的异常现象。

(3) $^{29}\text{Si}^+$ 注入中 BF^+ 束流的干扰会使注入层电激活率和迁移率下降。

(4) 用优质的材料,注入和退火条件得到了迁移率 $3000\text{—}4000\text{cm}^2/\text{V} \cdot \text{s}$ 和激活率80—100%高质量的低浓度n型层,并制作了良好的MESFET器件。

参 考 文 献

[1] S. J. Pearton, R. Hull, D. C. Jacobs et al., Appl. Phys. Lett., 1988, 48(1): 38.

- [2] Kwang, S. Seo, Sunanda Dhar and Pallab. K. Bhattacharya, Appl. Phys. Lett., 1985, 47(5): 500.
- [3] R. A. Morrow, J. Appl. Phys., 1987, 62(9): 3671.
- [4] R. A. Morrow, Appl. Phys. Lett., 1989, 55(24): 2523.
- [5] 朱德华, 李国辉, 张通和等, 半导体学报, 1990, 11(2): 140.
- [6] 王策寰等, 北京师范大学学报, 1992, 增刊 1, 45.
- [7] A. Bindal, K. L. Wang, S. J. Chang et al., J. Appl. Phys., 1989, 65(3): 1246.
- [8] 刘伊犁等, 北京师范大学学报, 1992, 28(4): 472.
- [9] 李国辉等, 北京师范大学学报, 1992, 28(4): 478.
- [10] 李国辉, 朱德华, 张通和, 北京师范大学学报, 1990, (4): 23.

Study of Optimal Ion Implanted Layers for Si^+ Implanted Si-GaAs^*

Li Guohui, Han Dejun, Chen Ruyi, Ji Chengzhou, Wang Cehuan**,
Xia Deqian*** and Zhu Hongqing.

(Institute of Low Energy Nuclear Physics, Beijing Normal University, Beijing 100875)

Abstract The relationship among characteristics of $^{29}\text{Si}^+$ implanted GaAs and substrate quality, ion implantation and annealing conditions has been investigated. The electrical activation efficiency and mobility have been shown to increase with increase of $[\text{As}]/[\text{Ga}]$. The BF^+ effect on implanted layers has been obtained. Boron leads to a decrease in activation efficiency and mobility of implanted layers.

Optimal substrate wafers, ion implantation and annealing conditions have been used. For low doses, the electrical activation efficiency is 80—100%, the mobility is $3000\text{--}4000\text{cm}^2/\text{V} \cdot \text{s}$. High quality MESFET of full ion implantation has been fabricated.

PACC: 7280E, 6170T

* The project Supported by National Natural Science Foundation of China

** Institute of Semiconductors, The Chinese Academy of Science Beijing, 100083

*** Nanjing Electronic Devices Institute, 210016

Received 30 April 1992, revised manuscript received 30 November 1992