

用离子注入在 GaAs 中形成 高浓度超薄有源层

颜本达 史常忻 忻尚衡 周文英

(上海交通大学 LSI 实验中心) (中国科学院上海冶金研究所离子束开放实验室, 上海)

1987年6月4日收到

高浓度浅结是高速砷化镓 MESFET 的重要技术。我们采用透过氮化硅薄膜进行 Si 离子注入的方法研制了载流子浓度大于 10^{18} cm^{-3} 的薄形有源层 ($<1000 \text{ \AA}$)。试验结果表明, 氮化硅膜的厚度基本等于载流子浓度峰值位置向衬底表面移动的距离; 高剂量 ($>10^{15} \text{ cm}^{-2}$), 低能量 ($<80 \text{ keV}$) 和较厚的氮化硅可以制得符合要求的薄形有源层。

主题词: 砷化镓, 离子注入, 浅结, 快速退火

一、前 言

高浓度超薄有源层是砷化镓超高速 MESFET 的重要技术; 是提高跨导、降低有源层串连电阻的有效途径。近年来, 高浓度 ($>10^{18} \text{ cm}^{-3}$) 超薄有源层 ($500\text{--}1000 \text{ \AA}$) 的研制得到日益广泛的重视。Ueno 等已采用 MBE 技术成功地制备了浓度高达 $3.6 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$, 深度为 200 \AA 的有源层^[1]。但是, MBE 设备尚未普及, 投资也高, 很难在短期内获得生产上的应用。而离子注入方法是砷化镓器件制作中的常用技术, 如果能采用离子注入方法获得高浓度的超薄有源层, 对于我国高速器件的研制具有重要的实用意义。本文即探索透过氮化硅作硅离子注入, 调整氮化硅膜厚度以控制载流子浓度峰值在砷化镓片子中的位置, 并采用红外辐照快速退火技术制取高浓度超薄有源层。

二、实验方法

实验采用上海冶金所提供的半绝缘 (100) 砷化镓片子。试样清洗后经 800°C 四小时退火筛选, 以保证其均匀性。退火后的试样经腐蚀后检查表面电阻, 以确保片子无反型现象。合格的片子然后用溅射方法沉积厚度为 $400\text{--}1000 \text{ \AA}$ 的氮化硅膜。溅射在上海有线电厂生产之 JG-PF3B 高频溅射仪上进行。溅射前真空间度为 3.5×10^{-6} 托, 溅射时 Ar 分压为 4×10^{-3} 托。氮化硅膜的厚度及折射率用 TP-83 椭圆偏振仪测量, 折射率均在 2.0—2.2 之间。硅离子注入在南京 55 所的 200keV 离子注入机上进行, 注入能量为 120keV 和 80keV 两种。120keV 时剂量为 $8 \times 10^{12} \text{ cm}^{-2}$, 80keV 时剂量为 $2 \times 10^{13} \text{ cm}^{-2}$ 和 $8 \times 10^{13} \text{ cm}^{-2}$, 以期获得氮化硅厚度、注入能量和剂量的最佳配合。

注入后的片子用氢氟酸漂去氮化硅膜后, 在自制的红外辐照快速退火炉进行无包封快速热退火, 以减小注入离子的再分布。退火时去除氮化硅膜是为了避免氮化硅中的杂质可能对 GaAs 衬底的沾污。退火后的片子用电化学 C-V 法测量载流子浓度分布。

三、实验结果和讨论

三批试样的注入条件和测试结果见表 1。图 1 和图 2 分别为 120keV 和 80keV 两种

表 1 试样制备参数及测试结果

试样号	氮化硅厚度 (Å)	注入能量 (keV)	注入剂量 (cm ⁻²)	载流子峰值浓度 (cm ⁻³)	有源层厚度 (Å)
11	520	120	8×10^{12}	1.5×10^{17}	1875
12	570	120	8×10^{12}	2.0×10^{17}	1450
13	704	120	8×10^{12}		
14	718	120	8×10^{12}		
15	960	120	8×10^{12}		
16	1015	120	8×10^{12}		
21	0	80	2×10^{13}	8.5×10^{17}	2200
23	380	80	2×10^{13}	9.0×10^{17}	1650
24	630	80	2×10^{13}	1.0×10^{18}	1300
31	780	80	8×10^{13}	2.8×10^{18}	950

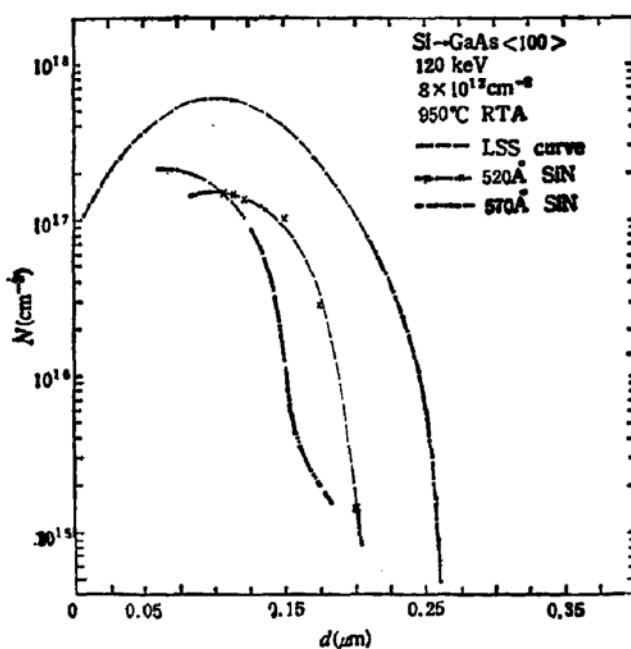


图 1 注入能量为 120keV 时的载流子浓度分布
Si—GaAs <100> $8 \times 10^{12} \text{ cm}^{-2}$, 950°C RTA.

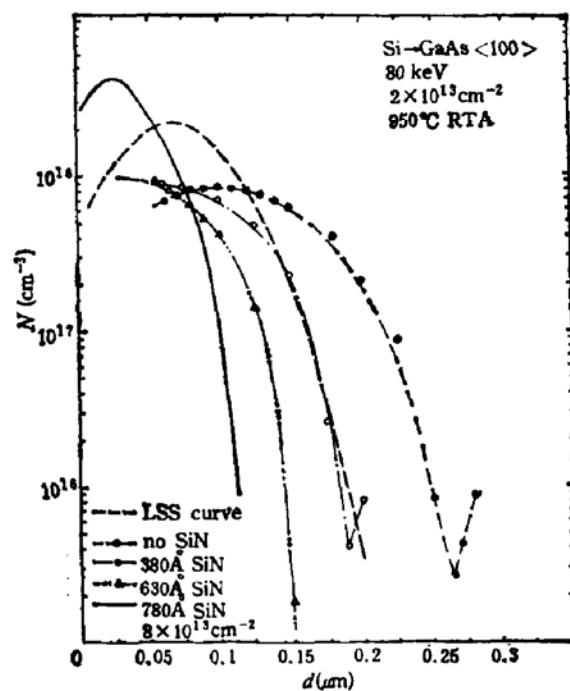


图 2 注入能量为 80keV 时的载流子浓度分布

注入能量的载流子浓度分布曲线。图中还同时给出了根据 LSS 理论计算的高斯分布曲线，其中 80keV 的峰值理论深度为 675 Å，比实测射程 960 Å 小约 300 Å，可见注入离子的实际能量偏高。图中的载流子浓度分布曲线系指去除氮化硅膜后的分布曲线。

我们采用比峰值浓度低一个数量级处作为有源层厚度。实验结果表明，增加氮化硅膜的厚度明显地使载流子浓度峰值移向片子的表面。一般认为，砷化镓和氮化硅具有相近的阻止本领^[2]，因而氮化硅膜的厚度与峰值位置的移动距离应有简单的对应关系。表 2 和图 3 为从图 2 曲线上测得的氮化硅膜厚度 (t) 与载流子浓度峰值位置移动距离 (d)。其中，峰值位置移动距离以无氮化硅膜试样的峰值位置为基准。可以看到，预先溅射氮化硅膜的厚度 t 与峰值移动距离 d 呈良好的线性关系（见图 3）。而且，当注入剂量从 $2 \times 10^{13} \text{ cm}^{-2}$ 增加到 $8 \times 10^{13} \text{ cm}^{-2}$ 时（试样 31），这一关系仍然符合。而以 120keV 注入时，

由于没有无氮化硅膜的注入试样作为基准，并且注入剂量较低，几个试样的载流子浓度都未能测出（试样 13—16），故未能得到类似的线性关系。但增加氮化硅膜的厚度使载流子浓度峰值向表面移动这一趋势是一致的。

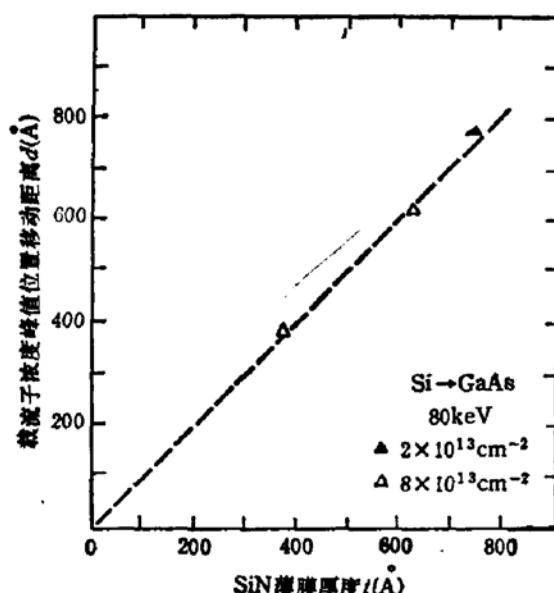


图 3 氮化硅膜厚度与载流子浓度峰值位置移动距离的关系

高能量 (120keV)、低剂量 ($< 8 \times 10^{13} \text{ cm}^{-2}$) 离子注入无法得到薄的有源层。这时如 SiN 膜太厚 ($> 700 \text{ Å}$)，则表面载流子浓度过低，无法用电化学 C-V 法测出。 $< 80 \text{ keV}$ 看来是较为合适的能量范围。我们采用了二种剂量：当剂量为 $2 \times 10^{13} \text{ cm}^{-2}$ 时，峰值浓度接近和达到 10^{18} cm^{-3} 数量级。但当 SiN 膜厚度大于 700 Å 时，与 120keV 时情况相同，载流子浓度无法测出，因而无法采用更厚的氮化硅膜，有源层厚度仍大于 1000 Å。当剂量增加到 $8 \times 10^{13} \text{ cm}^{-2}$ 时，峰值浓度提高到 $2.8 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ ，氮化硅膜的厚度也可提高到 780 Å，有源层厚度缩小到 950 Å，达到了我们所希望的薄有源层厚度 ($< 1000 \text{ Å}$) 的目的。而这时峰值位置离开片子表面仅 250 Å。这样薄的高掺杂层是制作超高速 MESFET 的理想材料。经表面蒸铝后初步测试，这样的高浓度层仍维持正常的肖特基特性。关于高掺杂层的二极管特性以后将另文报道。

从上面的结果可以看到，透过氮化硅膜进行 Si 离子注入，可以使载流子浓度峰值向表面移动，从而获得较浅的有源层厚度。对于一定的注入剂量，氮化硅膜厚的增加是有限的，也即浓度峰值向表面移动是有限的。注入剂量愈高，允许采用的氮化硅膜也愈厚。采

表 2 氮化硅膜厚 (t) 与载流子浓度峰值位置的移动距离 (d)，注入能量 80keV

试样号	23	24	31
t (Å)	380	630	780
d (Å)	387	625	750

用高注入剂量和较厚的氮化硅覆盖膜，可以获得浅的有源层。

四、结 论

- 采用透过氮化硅膜进行离子注入能有效地把 GaAs 中载流子浓度峰值移向表面。对于硅离子注入，氮化硅膜厚与峰值位置的移动距离基本相等，而与注入剂量无关。
- 提高注入剂量，增加氮化硅膜厚度和采用较低的注入能量，是获得高浓度超薄有源层的途径。
- 注入能量 $\sim 80\text{keV}$ ，注入剂量 $8 \times 10^{13}\text{cm}^{-2}$ ，氮化硅膜厚 800\AA ，可以得到浓度 $>10^{18}\text{cm}^{-3}$ ，深 $<950\text{\AA}$ 的有源层。

参 考 文 献

- [1] K. Ueno, T. Furutsuka, H. Toyoshima, M. Kanamori, and A. Higashisaka, IEDM85, p. 82—85.
 [2] J. Kasahara, M. Arai and N. Watanabe, *IEEE Trans. Electron Devices*, ED-33, 28(1986).

Preparation of Extra-Thin Channel with High Carrier Concentration in GaAs by Si Ion Implantation through SiN Film

Yan Benda, Shi Changxin, Xin Shangheng and Zhou Wenying

(Shanghai Jiao Tong University, LSI Center, Shanghai,
 Shanghai Institute of Metallurgy, Ion Beam Laboratory, Shanghai)

Abstract

Shallow junction with high carrier concentration is important for high speed MESFET. By using Si ion implantation through SiN film, very thin junctions ($<1000\text{\AA}$) with carrier concentrations of $>10^{18}\text{cm}^{-3}$ have been prepared. High doses of Si, $>10^{13}\text{cm}^{-2}$, and moderate energy, 80keV , were found to be suitable. The thickness of the SiN approximately equals the displacement of the carrier concentration peak towards the surface of the wafer.

KEY WORDS: Gallium arsenide, Ion implantation, Shallow junction, Rapid thermal annealing