

GaAs へのイオン注入技術 –LSI 実現をめざして–

Ion-implantation into GaAs – Application to GaAs LSI –

福井大院工 ○葛原 正明

University of Fukui

○Masaaki Kuzuhara

E-mail: kuzuhara@u-fukui.ac.jp

はじめに GaAs へのイオン注入技術について歴史的な背景を含めて概観する。GaAs は高速・高周波用半導体として期待を集め、特に 1980 年代には Si-LSI に代わる次世代 LSI として注目された。その特徴は、半絶縁性 GaAs 基板に n 型不純物元素を直接イオン注入するものであり、薄い FET チャネル導電層の形成と低抵抗のコンタクト層の形成について研究開発が進められた。後者のイオン注入では、WSi などの耐熱性金属を用いたゲート電極を注入マスクとして用い、活性化熱処理を含めて自己整合的に行うプロセス技術が盛んに検討された。ロジック回路には消費電力の少ない DCFL 回路が採用され、同一 GaAs 基板上に E/D モードの 2 種の FET を制御性良く作り分けることが求められた。

注入方法 GaAs へのイオン注入で用いられるイオン種として、n 型不純物では IV 族元素 Si, Sn や VI 族元素 S, Se, Te など、p 型不純物では II 族元素 Be, Mg, Zn などが知られている。実際の n チャネル FET 試作では、n 型不純物として Si イオンが最も一般的に用いられた。浅いチャネル層の形成には、30keV 以下の低エネルギーイオン注入が用いられたが、絶縁膜を介したスルー注入や SiF₂ や SiF₃ などの分子イオン注入も検討された。

熱処理方法 イオン注入では結晶内に結晶欠陥が同時に導入されるため、イオン注入後に不純物元素の活性化熱処理が必要となる。しかし、電気炉中で GaAs を 650℃以上の高温に放置すると、As 原子の蒸発により結晶表面が熱解離を起こすため、その防止策として熱処理保護膜の検討や As 圧印加の保護膜なし熱処理が検討された。また、高温での GaAs の熱解離の影響を少なくするため、レーザー、電子ビーム、赤外線ランプなどを加熱源に用いた短時間の熱処理法が提案され、特に熱処理時間を秒単位で制御する短時間熱処理法が実用的な方法として広く検討された。

n 型チャネル層の形成 GaAs-MESFET のチャネル層には $10^{17} \sim 10^{18} \text{cm}^{-3}$ 程度の Si 不純物濃度をもつ薄い n 型 GaAs 層の形成が求められる。電気炉を用いた熱処理では、表面保護膜に SiO₂ や SiN を用いて 800~850℃で 15 分程度の熱処理により 50~60%の活性化率が報告されている。一方、赤外線ランプ照射により 900~950℃で 2~5 秒の短時間熱処理を行うと、高活性化率 (>60%) で Si 不純物の再分布のない急峻なキャリア分布が得られ、MESFET の高 gm 化に有効であることが示されている[1]。

高濃度 n 型コンタクト層の形成 GaAs のイオン注入では注入損傷により深さ方向にストイキオメトリの不均衡が生じるため[2]、高ドーズ量のイオン注入で高活性化率を得ることは一般に困難である。このため、電気炉熱処理 (~850℃) により得られる最高電子濃度は $2 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ 程度で飽和することが知られていた。一方、より高温の短時間熱処理を用いるとこの限界を超えた活性化が可能となり、特に SiON 保護膜を用いた 1100℃で 5 秒の熱処理により、図 1 に示すように、 10^{19}cm^{-3} に迫る高電子濃度の活性化が実現されている[3]。

おわりに 半絶縁性 GaAs 基板の大口径化と高品質化が進み、またイオン注入による導電層形成技術が進展したことにより、1980 年代中頃には GaAs-MESFET を用いた 16k ビット SRAM やゲートアレイなどの LSI 試作例が相次ぎ報告された[4, 5]。しかし、1980 年代以降、MBE や MOCVD などの薄膜結晶成長技術が進展した結果、イオン注入を用いた GaAs-MESFET は次第に新たに台頭した HEMT や HBT にその座を譲る結果となった。

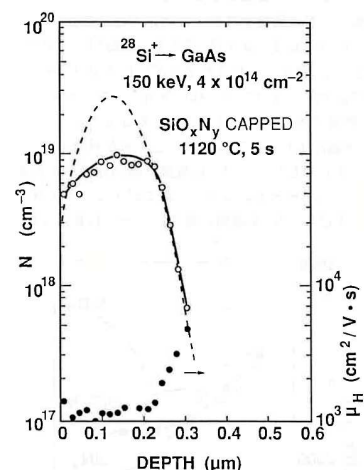


図1 Siイオン注入GaAsの電子濃度分布

- [1] M. Kuzuhara et al., Appl. Phys. Lett., 41, 755 (1982). [2] L.A.Christel et al., J. Appl. Phys., 52, 5050 (1981). [3] M. Kuzuhara et al., J. Appl. Phys., 58, 1204 (1985). [4] M. Hirayama, et al., IEEE Trans. Electron Devices, ED-33, 104 (1986). [5] N. Toyoda, et al., Tech. Dig., ISSCC, p.206 (1985).