

SEM・SCM 測定による SiC 基板における 注入イオンの横方向広がり量の定量測定

Characterization of lateral spread of implanted ions in a SiC substrate by scanning electron microscopy and scanning capacitance microscopy

京大院工¹ °金 祺民¹, 中島 誠志¹, 金子 光顕¹, 木本 恒暢¹

Dept. of Electron. Sci. & Eng., Kyoto Univ.¹,

°Q. Jin¹, M. Nakajima², M. Kaneko², and T. Kimoto²

E-mail: jin@semicon.kuee.kyoto-u.ac.jp

高温・耐放射線の厳環境 IC して、SiC JFET が有望視されている。SiC JFET を用いた、800°C 以上で動作可能な IC 作製が報告されているが[1]、ノーマリオン型 n-JFET と抵抗により構成されており、原理的に損失が大きい。我々は、消費電力低減の観点からノーマリオフ型 n-JFET、p-JFET を組み合わせた相補型 JFET(CJFET)による論理回路を提案している[2]。CJFET 構成にあたり、CJFET 回路の論理閾値は n-JFET、p-JFET それぞれの閾値電圧により決定されるため、閾値電圧の精密制御が必要となる。過去に、半絶縁性 SiC 基板上へのイオン注入により作製したサイドゲート n-JFET、p-JFET のノーマリオフ動作を報告したが[3]、その閾値電圧はマスク設計幅から計算した閾値電圧より小さい値となっている。閾値電圧が設計値と異なる原因の一つとして、注入イオンの横方向広がりにより、閾値電圧を決めるチャンネル厚が実際より小さくなっていることが挙げられる。本研究では、走査型容量顕微鏡 (SCM)、走査型電子顕微鏡 (SEM)測定により注入イオンの横方向広がり量を定量的に評価したので報告する。

SCM、SEM 測定用サンプルの断面模式図を図 1 に示す。サンプルの作製には 4°オフ 4H-SiC 高純度半絶縁性基板を使用した。まず、P イオンを基板に全面注入し、等間隔に長方形開口部があるマスクにより Al イオンを注入することで図 1 のような line-and-space パターンを形成した。p⁺領域および n 領域のドーピング密度は 5×10^{19} および $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ とした。また、ラインは $[1\bar{1}00]$ 、 $[11\bar{2}0]$ の 2 方向に並行したパターンを作製した。測定はすべて室温で行った。

SCM の測定結果を図 2 に示す。図 2 は Al イオンの(a) $[11\bar{2}0]$ 方向と(b) $[1\bar{1}00]$ 方向の横方向広がり像を指す。黄色領域が p⁺領域であり、褐色領域が n 領域となる。p⁺層は対称的な横方向広がり分布を持っていた。設計した p⁺層のライン幅は 5 μm だが、実際に形成されたラインの幅は両方向ともに 5.5 μm であった。一方、AFM 観察によりイオン注入時のマスク開口部の幅を実測すると 4.7 μm であり、設計値(5 μm)より 0.3 μm 狭くなっていることがわかった。これらより、いずれの方向においても Al イオンの横方向広がり量は約 0.8 μm (両側の和)と求められた。また、SEM 観察(図 3)においても明瞭な p⁺および n 領域が観察されており、Al イオンの横方向広がり量は約 0.9 μm と見積もられた。前回、JFET の閾値電圧のチャンネル厚依存性から求めた Al イオンの横方向広がり量は 0.8 μm であることを報告した [4]。今回の SCM と SEM 測定による Al イオンの横方向広がり量は JFET 特性から求めた値と良い一致を示す。

[1] P. G. Neudeck, et al., IEEE EDL **38**, 1082 (2017).

[2] M. Kaneko, et al., IEEE EDL **39**, 723 (2018).

[3] M. Nakajima, et al., IEEE EDL **40**, 866 (2019).

[4] 金 他, 第 67 回応用物理学会春期学術講演会, 15p-A201-1.

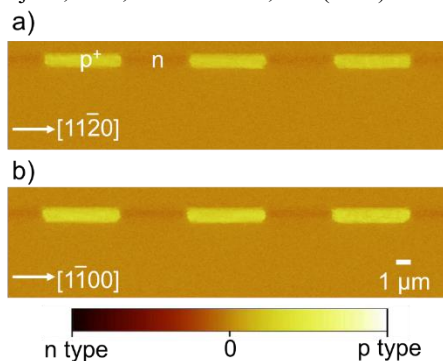


Fig. 2: SCM images of p⁺, n region in line-and-space samples along (a) $[11\bar{2}0]$ and (b) $[1\bar{1}00]$ directions.

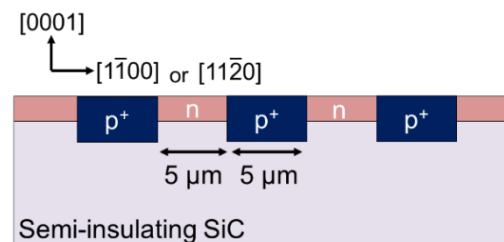


Fig. 1: Schematic drawing of the line-and-space sample for SCM and SEM observation. 5- μm -pitch line-and-space pattern is designed.

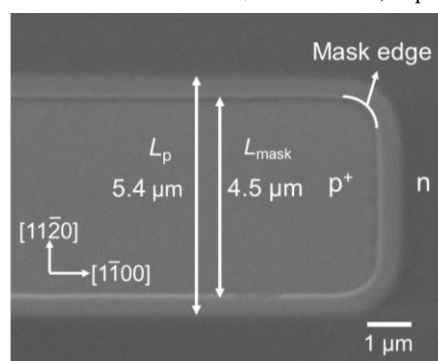


Fig. 3: SEM surface image of p⁺, n region in a line-and-space sample.