

Al 注入した 4H-SiC へのレーザ照射による Al 拡散とシート抵抗の調査

Investigation on Al diffusion and sheet resistance of Al-implanted and laser-irradiated 4H-SiC

九州大学システム情報科学府¹, 崇城大学情報学部² ○(M2)武藤 彰吾¹, 池田 晃裕², 池上 浩¹, 浅野 種正¹

Kyushu Univ.¹, Sojo Univ.²: ○S. Muto¹, A. Ikeda², H. Ikenoue¹, T. Asano¹

E-mail: mutou@fed.ed.kyushu-u.ac.jp

1. 背景 4H-SiC (以後 SiC と記す)への不純物の局所導入には現在, 500~800 °C程度に昇温した基板へのイオン注入と~1700 °Cでの活性化アニールによる方法が主に検討されている。しかし, 高温での熱処理中に炭素空孔が発生することに起因する電気特性の劣化ならびに, 工程数の増加に伴う製造コストの上昇を招くという課題がある。

この課題解決するために, 我々はレーザを用いたドーピング手法について研究を行ってきた。ドーパントを含む液中でのレーザ照射あるいはSiC表面に形成した固体薄膜へのレーザ照射によって, P, N, Al ドーピングすることが可能であることを報告してきた[1,2,3]。その研究の過程で, レーザドーピングの場合には不純物の拡散係数が, 炉アニールを用いて調査された拡散係数に比べて桁違いに大きくなる可能性があることを見出した。この異常に大きな拡散係数が, 液中や固体薄膜へのレーザ照射という技術特有のものなのか, レーザ加熱によるものなのかを調査するために, 今回, イオン注入した Al のレーザ照射による拡散と活性化を調査したので, その結果を報告する。

2. 実験方法 本実験では 10 mm×10 mm サイズのチップ状にダイシングした n-epi/n⁺-SiC チップを使用した。n-epi 層, n⁺層には N がドーピングされており, n-epi 層のドーピング密度は $2.0 \times 10^{16} / \text{cm}^3$ である。

Al の注入条件は, Si 面注入, 加速電圧 40 keV, ドーズ量 $5.0 \times 10^{14} / \text{cm}^2$, 1 段ショットで注入を行い平均射影飛程約 50 nm, ピーク濃度 $1.0 \times 10^{20} / \text{cm}^3$ となるようにした。注入は, 基板温度を 500 °C に昇温して実施した。

レーザは KrF エキシマレーザを用いた。ビームサイズを $300 \mu\text{m} \times 1000 \mu\text{m}$ とし, パルス周波数 100 Hz, フルエンス 2.8 J/cm², 重なり回数 10 回で照射を行った。その後, レーザ照射をしてない領域と, レーザ照射をした領域で, 二次イオン質量分光分析(SIMS)による Al の濃度分布の測定を行った。2 つの濃度分布をガウス関数でフィッティングを行い, その差から拡散係数を導出した。

一方, シート抵抗の変化を測定するための試料は, ビームサイズ $300 \mu\text{m} \times 300 \mu\text{m}$, パルス周波数 100 Hz, フルエンス 0.2 - 52.0 J/cm², 照射回数 (ステップ無し) 1 - 100 shots, パルスストレッチャー(OPS)の有無で照射した。シート抵抗は, 照射領域の四隅に探針を接触させて測定した。

3. 実験結果 Fig. 1 に Al 注入した SiC のレーザ照射前とレーザ照射後の SIMS による深さ方向の Al 濃度分布の測定結果を示す。レーザ照射前では, 注入条件と同様の Al 分布が確認できた。その後のレーザ照射により, ピーク値の減少, 深さ方向での拡散が確認できたので, これを(1)式のイオン注入後の熱アニールによ

る拡散係数 D を含んだ式でフィッティングを行った[4]。

$$C(x) = \frac{Q_{\text{DOSE}}}{\sqrt{2\pi} \sqrt{(\Delta R_p^2 + 2Dt)}} \exp\left(-\frac{(x - R_p)^2}{2(\Delta R_p^2 + 2Dt)}\right) \quad (1)$$

Q_{DOSE} はドーズ量[cm²], R_p は射影飛程[nm], ΔR_p は R_p の標準偏差[nm], t はレーザの合計照射時間 $55 \times 10^6 \text{ nsec}$ とした。その結果, $D=1.05 \times 10^{-6} \text{ cm}^2/\text{s}$ と推定された。この値は, レーザドーピングと同様に, 報告されている拡散係数を SiC の昇華温度 3100 K まです外挿して見積もられる値よりも桁違いに大きい。

Fig. 2 に照射回数 100 shots のときの各フルエンスにおけるシート抵抗を OPS 有無に分けて示す。照射回数 1, 10, 100 shots いずれもフルエンスを上げることでシート抵抗の低減がみられた。OPS 無の方が低フルエンスで低抵抗化しているが, アブレーションによる表面削れが激しくなることが確認された。

<謝辞> 本研究の一部は科研費 (No. JP16H02342, JP17K06387) の援助による。

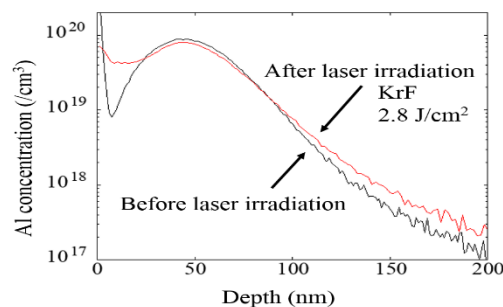


Fig. 1. Depth profiles of Al measured using SIMS.

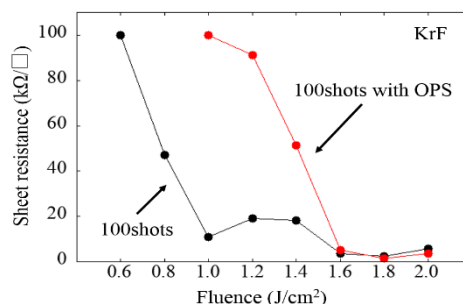


Fig. 2. Change in sheet resistance with laser fluence.

- [1] A. Ikeda, et al, Applied Physics Letters, Vol.102, pp.052104-1-4 (2013).
- [2] A. Ikeda, et al, Material Science Forum, Vol.821-823, pp.448-445 (2015).
- [3] A. Ikeda, et al, Material Science Forum, Vol.858, pp.527-530 (2016).
- [4] Y. Tajima, et al., The Journal of Chemical Physics 77, 2592 (1982).