

KrF エキシマレーザーを用いた薄膜レーザードーピング法により 形成された n 型 4H-SiC のコンタクト特性及び結晶性評価 Crystallinity and contact resistance of n-type 4H-SiC formed by thin-film laser doping method with KrF excimer laser

九大 電情¹ 九大 シス情², 九大 ギガフォトン NextGLP 共同研究部門³

○(B)安並拓磨¹, 菊地俊文^{2,3}, 妹川要³, 中村大輔², 池上浩^{2,3}

Dept. EECS, Kyushu Univ.¹, Grad. Sch. ISEE, Kyushu Univ.², Dept. of Gigaphoton Next GLP, Kyushu Univ.³

○T. Yasunami, T. Kikuchi^{1,2}, K. Imokawa^{1,2}, D. Nakamura¹, H. Ikenoue^{1,2}

E-mail: ikenoue.hiroshi.834@m.kyushu-u.ac.jp

1. 序論

ワイドバンドギャップ半導体である 4H-SiC は、優れた材料物性を有し、パワーデバイスや低環境負荷デバイス材料として注目されており [1], SBD, MOSFET が実用化されている。一方、ウエハ製造や不純物ドーピング等の高いプロセスコストが 4H-SiC デバイスの社会普及の妨げとなっている。不純物ドーピングに関しては、高コストのホットイオンインプランテーション法が用いられている。特に約 1700℃の活性化アニール時が必要であり 4H-SiC デバイス低価格化のボトルネックとなっている。その為、裏面のコンタクト形成プロセスにおいては Ni を製膜した後、約 1000℃でファーネスアニールをする方法が用いられている。また現在は、ファーネスアニール工程をレーザーアニールに置き換える手法が研究されている [2]。しかしながら、これらの手法は炭素欠陥導入によるキャリア生成に依存しているため、キャリアの高密度化に限界があり、コンタクト抵抗値は $10^{-5} \Omega \text{cm}^2$ 台前半が限界である。また、炭素欠陥形成により Ni/4H-SiC 界面に偏析したカーボンクラスターが電極の剥がれの要因となることが問題となっている。我々は、4H-SiC 上にドーパントを含む膜として SiN_x を製膜し、レーザー照射を行うことで高濃度の窒素ドーピングと高い活性化率を有した n 型化を達成している [3]。今回我々は、レーザードーピングにより高濃度かつ高い活性化率が達成された 4H-SiC のコンタクト抵抗値、断面 TEM による結晶状態の解析を行った。コンタクト抵抗値においては、 $1 \times 10^{-6} \Omega \text{cm}^2$ の低い値を測定可能な手法を新たに用い、従来のプロセスと本プロセスの比較を行った。また、デバイス製造プロセスへの応用を考慮しレーザーパルス幅制御によるプロセス適応の検証及び、 SiN_x 膜除去後の表面状態を評価したので、その結果を報告する。

2. 実験

用いたレーザーはギガフォトン社製 KrF エキシマレーザーであり、波長は 248 nm、パルス幅は、約 26 ns, 47 ns, 82 ns の選択が可能である。繰返し周波数は 1~4000 Hz に設定可能であり本実験では 100 Hz に設定した。レーザー光は可変スリットにより中央付近を切り出し、そのサイズは試料面上で $300 \mu\text{m} \times 400 \mu\text{m}$ であった。用いたステージは最大 300 mm/s の速度であり、レーザーを照射しつつ試料をレーザー光の長軸方向に 4 mm/s で走査することでレーザー照射回数を 10 shots/loc. となるように設定した。レーザー照射面の酸化を抑制する為、ガス吹付ノズルを用いて Ar を供給し照射雰囲気から大気を排除した。レーザー照射後の表面粗さは、同ステージ上に設置された高さ分解能 0.5 nm のレーザー 3D 顕微鏡にて観察した。用いたサンプルは、 $\text{SiN}_x(100 \text{ nm})/\text{n-type 4H-SiC}(0001)\text{sub.}$ であり、 SiN_x 膜は 4H-SiC sub. の C 面に CVD (Chemical vapor deposition) 法にて形成し

た。照射フルエンスは $2.0 \sim 3.5 \text{ J/cm}^2$ に設定しレーザー照射を行った。照射後、 SiN_x 膜を 150℃リン酸溶液にて除去、 O_2 , CF_4 プラズマエッチングにより C 系、Si 系の生成物を除去した。

3. 結果及び考察

Fig. 1 にレーザー照射後のコンタクト抵抗値及び表面粗さ R_a を示す。複数の照射条件において $1 \times 10^{-6} \Omega \text{cm}^2$ の低いコンタクト抵抗値が確認された。レーザーフルエンスと相関し照射後の表面粗さが増加していることが確認された。また、パルス幅が長い条件において表面粗さを抑制する効果が確認された。これは、時間に対するエネルギーの密度下げたことによりサンプルに対し熱が深さ方向に拡散したことが影響したと考えられる。Fig. 2(a) に低コンタクト抵抗及び低表面粗さを達成した パルス幅 82 ns、フルエンス 3.0 J/cm^2 でレーザー照射したサンプルの断面 TEM 画像を示す。(b) の FFT 解析より 4H-SiC の結晶構造を保っていることが確認された。よって高い結晶性を有した高濃度なドーピングはレーザー照射により達成されることが示された。

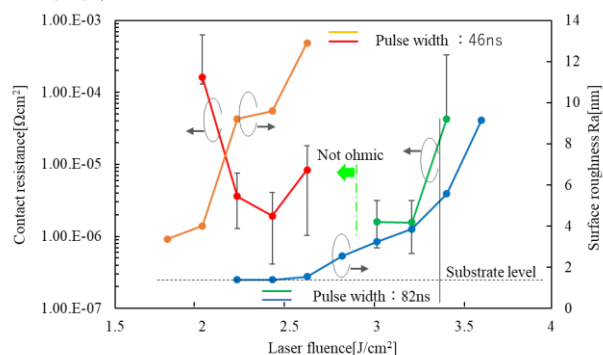


Fig.1 Pulse width 46ns 82ns, Contact resistance and surface roughness dependence on laser fluence

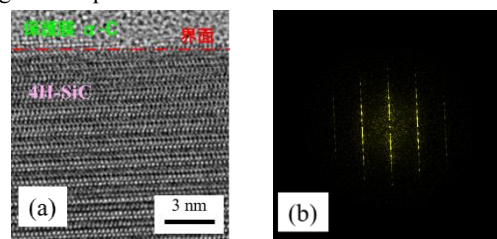


Fig.2(a) Bright-field-STEM image (pulse width 82 ns, fluence 3.0 J/cm^2), (b) FFT analysis to a depth of 10 nm from the laser-irradiated surface

[1] Carl-Mikael Zetterling, "Process Technology for Silicon Carbide Devices," (2002).

[2] R. Rupp, et al. IEEE. 10.1109/ISPSD.2013.6694396 (06 January 2014)

[3] 菊地俊文ら, 第 67 回応物春季学術講演会, (2020)