レーザードーピング後の光学顕微鏡画像を用いた機械学習による 4H-SiC 電極のコンタクト状態の予測

Prediction of contact resistance of 4H-SiC electrode by machine learning using optical microscope images after laser doping

九大シス情 [1]，九大ギガフォトン共同部門 [2]，東北大未来研 [3]
○岩泉裕生 [1]，安並拓磨 [1]，片山慶太 [1]，柿本祥明 [2]，中村大輔 [1]，後藤哲也 [3]，池上浩 [1,2]
Grad. Sch. of ISEE, Kyushu Univ.[1], Department of Gigaphoton Next GLP, Kyushu Univ.[2],
New Industry Creation Hatchery Center Tohoku Univ.[3]
°Yuki Iwaizumi[1], Takuma Yasunami[1], Keita Katayama[1], Yoshiaki Kakimoto[2], Daisuke Nakamura[1], Tetsuya Goto[3], Hiroshi Ikenoue[1,2]
E-mail: ikenoue.hiroshi.834@m.kyushu-u.ac.jp

1. 背景

我々は 4H-SiC デバイスの電極形成部のコンタクト抵抗低減を目的とし、レーザードーピングを用いて高濃度 n 型 4H-SiC 形成を試みてきた[1]。

レーザードーピングにおいて、所望のドーピング状態を達成するためには、多数の制御パラメータから最適な条件を見つけることが必要である。特に、半導体デバイスにおいては、レーザードーピング後の濃度や損傷などの物性評価のみならず、デバイスの試作とその電気特性の評価が要求されることから、条件を見出すまでに多大な時間を要する。

我々は半導体デバイス開発に要するリードタイム削減を目的に、機械学習を用いた 4H-SiC レーザードーピングの電気特性状態の予測を試みたのでその結果を報告する。

2. 実験

SiC ウェハ上に SiN 膜を成膜し、KrF エキシマレーザー（ギガフォトン社製）を照射することでレーザードーピングを行った。本研究ではレーザードーピングのパラメータとしてレーザーフルエンスと照射回数の２つを変化させた。これらを組み合わせた網羅的な条件でレーザードーピングを行い、レーザー照射後の光学顕微鏡画像を取得し、この画像データを説明変数とした。デバイス電気特性の評価には、電極形成部である半導体-金属接触界面の状態を用いた。ショットキー接合・オーミック接合・非オーミックの３つの状態を設定し、これらを目的変数とした。画像からコンタクト抵抗状態を予測する分類モデルを、畳み込みニューラルネットワークの学習済み機械学習モデル VGG16 を用いて実装した。データセットはショットキー：266 枚、オーミック：175 枚、非オーミック：91 枚の合計 532 枚を用意し、学習に 380 枚、検証に 152 枚を用いた。

3. 結果

分類精度の評価指標を Table 1 に示す。

適合率(Precision)は A だと予測したデータの内、真に A である割合を示す。再現率(Recall)は、真に A であるデータの内、正しく A と予測できた割合を示す。F 値(F-measure)は適合率と再現率の調和平均である。これらは機械学習の分類における精度を表す指標として用いられる。

ショットキー・オーミック・非オーミックの３つの状態とも適合率・再現率・F 値で 80%以上、高いもので 90%後半のスコアが出ており、人が分類する場合と同程度の精度となっている。Fig.1 より３つの分類の境界線付近で誤分類していることが分かる。人と同程度の分類作業を 20 分程度の学習と数秒の予測で行うことができ、ドーピング以降のデバイス製作工程を省略できるため、人的・時間的・経済的コストの削減を達成し得ると結論する。

Table 1 Classification accuracy index

	Schottky	Ohmic	Not Ohmic
Precision	0.915	0.911	0.880
Recall	0.987	0.820	0.846
F-measure	0.949	0.863	0.863

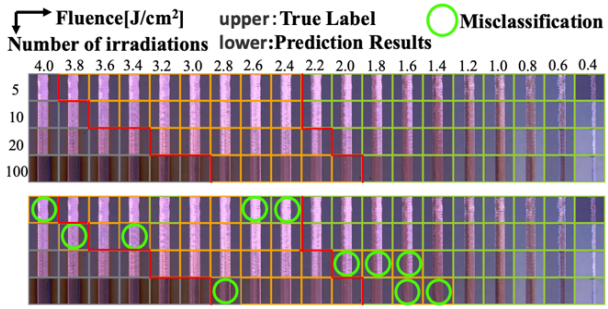

Fig.1 Comparison of classification correct labels and predicted results

4. 参考文献

[1] T Kikuchi et al. “Low temperature and high concentration laser doping system for fabrication of 4H-SiC power devices”. Lasers in Manufacturing Conference 2021

謝辞
本研究の一部は、内閣府の戦略的イノベーション創造プログラム(SIP)第二期の課題「光・量子を活用した Society5.0 実現化技術」の助成を受けて行われました。