

機械学習を用いた Si MOSFET 埋め込みナノ構造の非破壊評価の検討

Study on Non-destructive Characterization of Embedded Nano-structure in Si MOSFET Using Machine Learning

北大 量集センター¹, 呂任翔¹, 葛西誠也¹

RCIQE, Hokkaido Univ.¹, [○]R. Lyu¹ and S. Kasai¹

E-mail: renxiang.lyu.j8@elms.hokudai.ac.jp

はじめに：ランダムナノ構造を識別子とするナノ人工物メトリクス[1]の実用化に必要な簡便な構造識別法として、我々は Si MOSFET にナノ構造を埋め込み、その電気的特性にナノ構造の特徴を反映させる手法を検討している。現状、デバイスシミュレーションで明確なナノ構造応答が得られているが、試作素子では応答が再現できていない[2]。原因として試作過程において埋め込みナノ構造の断面形状が変化していることが考えられるが、複数の素子について実験的にナノ構造の断面を評価し電気的特性との相関を得ることは容易ではない。そこで本研究では、機械学習を利用することで非破壊的に埋め込んだナノ構造の情報を取得する方法について検討した。

方法：ナノ構造を埋め込んだ Si MOSFET のドレイン電流-電圧 ($I_{DS}-V_{DS}$) 特性を入力として埋め込んだ構造の形状を出力する機械学習モデルを構築し、電流-電圧特性から構造の形状や位置を推論する。今回は、デバイスシミュレータを用いて取得した $I_{DS}-V_{DS}$ 特性を入力、設定したナノ構造を教師データとし、総計 2000 個のノードを持つ 2 層の帰還型ニューラルネット (RNN) を用いて学習を行った。推論した凸構造形状を表す 20 点の座標データを出力させる。コンセプト実証のため素子構造は 2 次元とした。

結果と考察：シミュレーションした素子構造と得られた $I_{DS}-V_{DS}$ 特性を Fig. 1 に示す。埋め込んだ単一ナノ凸構造は幅 $D=100$ nm、高さ $H=50$ nm である。ゲート酸化膜は 10 nm、凸構造の位置はドレイン端から 100 nm である。ナノ構造埋め込みにより $I_{DS}-V_{DS}$ 特性が大きく変化するのがわかる。学習したモデルによって推論されたナノ凸構造と設定構造を Fig. 2 に示す。形状に揺らぎが見られるが構造の幅と高さはほぼ再現されており、 $I_{DS}-V_{DS}$ 特性から埋め込み構造の情報を非破壊で取得できる可能性が示された。一方、推論された構造位置が 60 nm ほどドレイン側にずれており、RNN モデルの学習精度がまだ十分ではないと考えられる。今後 RNN の層数やノード数の最適化、学習データの増加を試みる。

[1] T. Matsumoto *et al.*, *Sci. Rep.* **4**, 6142 (2014).

[2] T. Mitsuya *et al.*, *JJAP* **63** 03SP60 (2024).

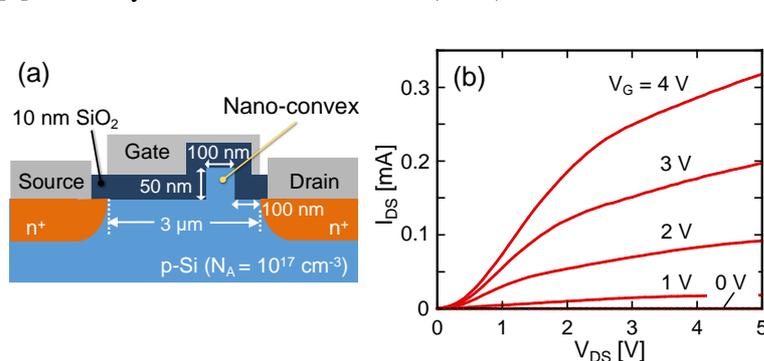


Fig. 1 (a) Simulated nano-convex-embedded Si MOSFET structure and (b) obtained $I_{DS}-V_{DS}$ curve.

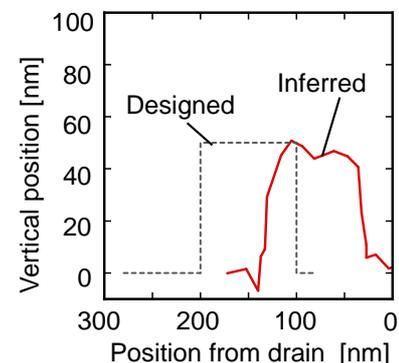


Fig. 2 Comparison between designed and inferred nano-convex structures.