

ダイヤモンド半導体電界効果トランジスタの特性予測モデルの構築

Construction of characteristics prediction model for diamond semiconductor field effect transistors

奈良先端科学技術大学院大学¹, 名大工², 理研 AIP³,[○]西部愛里紗¹, 蜂谷涼太² 藤井茉美¹,

杓掛健太郎^{2,3}, 宇治原徹², 浦岡行治¹

NAIST¹, Nagoya Univ.², RIKEN AIP³,[○]Arisa Nishibu¹, Ryouta Hachiya², Mami Fujii¹,

Kentaro Kutsukake², Toru Ujihara², Yukiharu Uraoka¹

E-mail: nishibu.arisa.na4@ms.naist.jp

1. はじめに

ダイヤモンド半導体は、究極の半導体材料とも言われ、広いバンドギャップ、高い絶縁破壊電界、高移動度、高熱伝導率などの性質により、高出力電圧・低消費電力デバイスを始め新規デバイスが実現可能と期待される。しかし、現在のダイヤモンド半導体はコストが高く、デバイス作製にも時間がかかる。そこで本研究ではシミュレーション取り入れた。シミュレーションは、様々なパラメータを指定することができるため、仮想的にデバイスをデザインすることが可能である。本研究では、ダイヤモンドの材料特性を表すパラメータとして、バンド内の欠陥準位の位置、密度、幅を用いた。また、将来の実デバイス作製を想定し、ゲート酸化膜の厚みや固定電荷などのデバイスに関するパラメータも考慮した。さらに、シミュレーション結果をニューラルネットワークを用いて学習し、トランジスタ特性の予測モデルを作成した。さらに、作成したモデルに対する最適化によって、任意の電気特性を与えるパラメータを推定した。

2. 実験方法

2.1. 電界効果トランジスタシミュレーション

本研究では、Silvaco 社の TCAD, ATLAS を用いた。バンドギャップ中の局在準位、ゲート電極の仕事関数、界面固定電荷の状態密度、ゲート電極の位置、酸化膜の厚みを可変のパラメータとして、トランジスタ特性を計算した。パラメータ値の範囲は、[1]を参考にして設定した。



Fig.1 ダイヤモンド半導体電界効果トランジスタ概略図

2.2. 機械学習モデル

300 条件のパラメータの組み合わせをランダムで作成し、シミュレーションを実施した。

300 条件のうち 240 条件をニューラルネットワークで学習させ、残り 60 条件はモデルの検証に用いた。

2.3. パラメータ推定

任意の電気特性を与えるパラメータ値の組合せを最適化によって推定した。電気特性には、電界効果トランジスタの電流・電圧特性 ($I_{ds}-V_{ds}$, $I_{ds}-V_{gs}$) の 2 種類を用い、最適化には遺伝的アルゴリズムを用いた。

3. 結果、考察

ニューラルネットワークの予測精度は $I_{ds}-V_{ds}$, $I_{ds}-V_{gs}$ とともに R2Score が 0.930 を超えていた。また、最適化によって任意の電気特性のパラメータを探索するのに要した時間は、従来のシミュレーションのみで探索した場合の 500 分の 1 以下であった。また、パラメータ推定において全パラメータの真値からの距離の絶対値を 100% とした時の各パラメータの真値からの距離をずれとし比較した (Fig.2)。

推定されたパラメータの結果を考察すると、一部のパラメータは真値付近の値を推定できたが、推定できないパラメータも存在した。特に、 $I_{ds}-V_{gs}$ 特性の閾値電圧を変化させるようなパラメータの場合、推定精度が悪くなるような傾向が伺えた。これは、各パラメータが電気特性に与える影響にいくつか種類があり、同種類のグループ内、今回は特に閾値電圧に影響する数種類のパラメータ間でトレードオフの関係になってしまうことが考えられる。

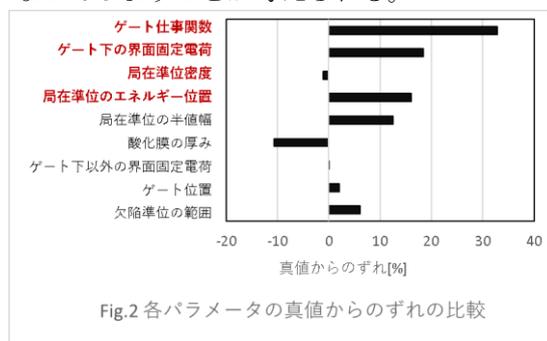


Fig.2 各パラメータの真値からのずれの比較

参考文献

[1] H.Y.Wong, et al., Diamond & Related Materials **80** (2017) 14–17.