

令和4年4月12日

各報道機関文教担当記者 殿

完全平坦表面を持つダイヤモンド半導体層の埋込成長技術を開発

金沢大学ナノマテリアル研究所の徳田規夫教授、金沢大学大学院自然科学研究科電子情報科学専攻博士後期課程1年小林和樹氏らの研究グループは、産業技術総合研究所先進パワーエレクトロニクス研究センターの牧野俊晴研究チーム長、ドイツ Diamond and Carbon Applications のクリストフ E. ネーベル CEO（本学招へい教授）との共同研究により、**完全平坦表面を持つダイヤモンド半導体層の埋込成長技術を開発しました。**

今、世界では、カーボンニュートラル実現のために、半導体デバイスの更なる省エネ化が必要となり、次世代ワイドバンドギャップ半導体の開発が進められています。その中でも特に高い絶縁破壊電界とキャリア移動度、熱伝導率を有するダイヤモンドは、究極の半導体デバイス材料として期待されています。

徳田教授らの研究グループは、2016年に独自の界面制御技術を開発し、世界で初めてダイヤモンド半導体を用いた反転層チャネル型 MOSFET の動作実証に成功しました。しかし、そのダイヤモンド MOSFET は、動作時の抵抗が高いという問題があることが明らかになり、低抵抗化に向けたダイヤモンドデバイスプロセス技術に関して研究を進めてきました。

MOSFET 動作時の高抵抗の原因であるソース/ドレイン用低抵抗半導体層の埋込化とチャネル部分のダイヤモンド表面の平坦化技術の開発に取り組んできた結果、ダイヤモンドのラテラル成長技術を基軸とし、原子的に平坦なダイヤモンド表面を維持しつつ選択的に不純物ドーピングしたダイヤモンドの埋込層の形成技術を開発に成功しました。本埋込技術はイオン注入による不純物ドーピング層形成の代替技術として用いることが可能です。

今後、本埋込技術を用いて、原子的に平坦な界面を有するダイヤモンド MOSFET を開発することで、さらなるデバイス性能向上に向けて大きく前進することが期待できます。

詳細は別添のとおりです。

本研究成果は、2022年4月8日に Elsevier の国際学術誌『*Applied Surface Science*』にオンライン掲載されました。

【研究の背景】

カーボンニュートラルを実現するためにキーテクノロジーの一つとして、大幅な省エネを実現する次世代パワー半導体の研究開発が進められています。特にダイヤモンドは、次世代半導体材料の中でも、高い絶縁破壊電界や熱伝導率を有しており、より大きな電力の制御が必要な領域や、放射線環境下、高温環境下といった過酷な応用領域における省エネ化につながると期待されています。

しかし、現在広く用いられているデバイス構造である反転層チャンネル MOSFET のダイヤモンド応用はいくつか課題を残しています。一つ目に、デバイスの性能が低いことです。この原因の一つに、酸化膜/ダイヤモンド界面の平坦性が低いことが挙げられます。二つ目に、シリコンなどこれまでの半導体材料に使用されてきた、不純物ドーパ層を選択的に形成するイオン注入法がダイヤモンドでは確立しておらず、デバイス構造が最適でないことが挙げられます。そのため、原子的に平坦なダイヤモンドの表面を持ち、かつ、不純物ドーパ層を選択的に形成可能なプロセス技術の開発が求められていました。

【研究成果の概要】

本研究グループは、イオン注入法の適用が難しいとされるダイヤモンドにおいて、代替技術となる選択的な場所に不純物ドーパ埋込層の形成技術を開発しました。(図 1) さらに、本技術は、ダイヤモンド表面を原子的レベルで平坦なまま維持します。

これは、徳田教授が 2008 年 7 月に報告した、ダイヤモンドを横方向にのみ成長させるラテラル成長技術 (doi:10.1016/j.diamond.2008.01.089) を応用したものです。

ラテラル成長技術は、テラス上での核形成を完全に抑制し、ステップのみを成長起点とすることで原子的に平坦な面を形成可能であるとともに、結晶欠陥を抑制した高品質なダイヤモンドを成膜することが可能です。今回、ラテラル成長によって形成した原子的に平坦なダイヤモンド表面を有する窒素ドーパダイヤモンド層に対して選択的にピットを形成し、その後、高濃度ホウ素ドーパダイヤモンド層のラテラル成長によって 10^{20} atoms/cm³ を超えるホウ素ドーパ埋込層の形成に成功しました (図 2)。そのため、課題となっていた表面の平坦性を究極に高め、選択的に不純物ドーパ膜を埋め込むことが可能です。

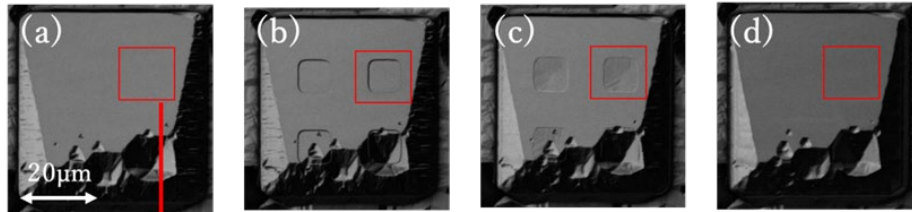
【今後の展開】

本研究成果は、次世代パワーデバイスの性能向上に向けた新たなプロセス技術として、ダイヤモンドパワーデバイスの社会実装における一つのブレークスルー技術となり、ダイヤモンド半導体の実現に向けた進展への貢献を目指します。

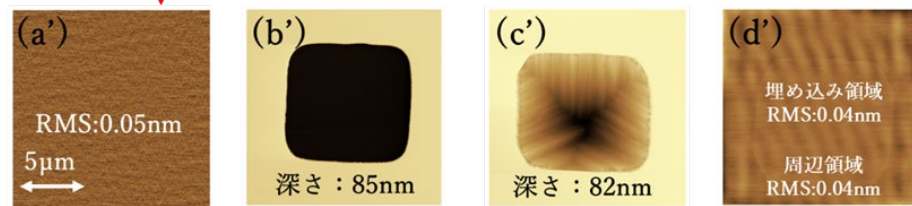
本研究の一部は、金沢大学先魁プロジェクト 2020、日本学術振興会科学研究費助成事業 (JP18KK0383, JP21H01363)、科学技術振興機構創発的研究支援事業 (JPMJFR20353078) の一環として行われました。

窒素で汚染されたチャンバーでのアンダープラテラル成長 ICPエッチングによる穴の形成 1回目のホウ素ドープラテラル成長 2回目のホウ素ドープラテラル成長

LM 像



AFM 像



YZ断面の模式図

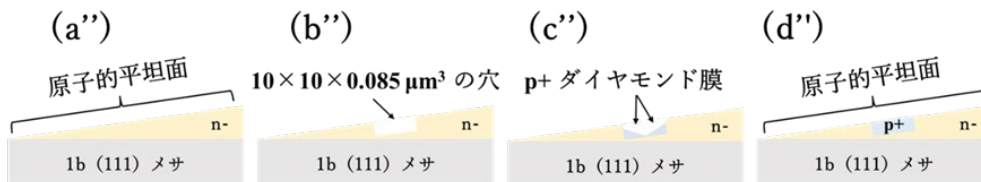


図 1. 今回開発した選択的に不純物ドーパ膜を埋め込むプロセスの概要

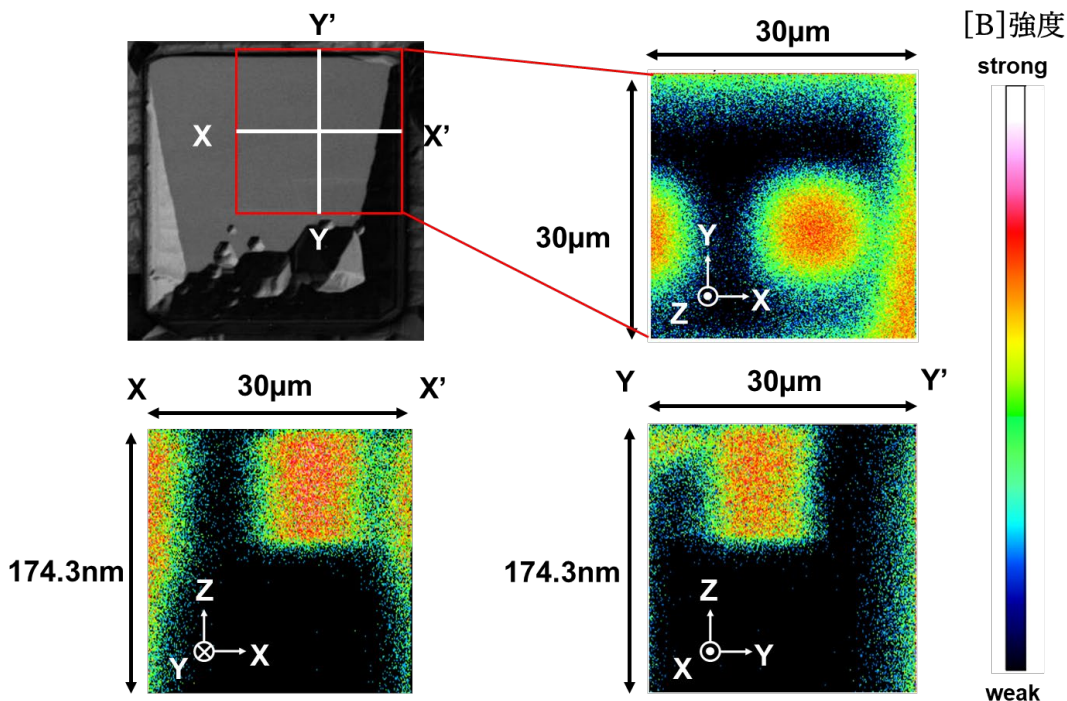


図 2. 膜中の不純物（ホウ素）濃度を定性的に表したイメージング SIMS 測定結果。

【掲載論文】

雑誌名：Applied Surface Science

論文名：Selectively buried growth of heavily B doped diamond layers with step-free surfaces in N doped diamond (111) by homoepitaxial lateral growth

（ラテラル成長技術を用いた N ドープダイヤモンド（111）膜への高濃度 B ドープ層の選択的埋込成長）

著者名：Kazuki Kobayashi, Xufang Zhang, Toshiharu Makino, Tsubasa Matsumoto, Takao Inokuma, Satoshi Yamasaki, Christoph E. Nebel, and Norio Tokuda

（小林和樹，張旭芳，牧野俊晴，松本翼，猪熊孝夫，山崎聡，クリストフ E. ネーベル，徳田規夫）

掲載日時：2022 年 4 月 8 日

DOI：10.1016/j.apsusc.2022.153340

【本件に関するお問い合わせ先】

■研究内容に関すること

金沢大学ナノマテリアル研究所 教授

徳田 規夫（とくだ のりお）

TEL：076-234-4875（直通）

E-mail：tokuda@ec.t.kanazawa-u.ac.jp

■広報担当

金沢大学理工系事務部総務課総務係

野口 美雪（のぐち みゆき）

TEL：076-234-6957

E-mail：s-somu@adm.kanazawa-u.ac.jp