

■ はじめに

電力は現代生活において欠かすことが出来ない。限りある資源を有効に利用するため、電力損失の低減が求められている。そのカギとなるのは、電力制御に用いられる半導体デバイスの低損失化である。そのための半導体材料として我々はダイヤモンドに着目している。ダイヤモンドは、ワイドバンドギャップ半導体として、シリコンカーバイド(SiC)や窒化ガリウム(GaN)をも凌駕する優れた特性を有する。ダイヤモンドの高い絶縁破壊電界や高い移動度を活かすことが出来れば、損失の小さなデバイスの実現が期待される。ダイヤモンドは高電圧や、大電流、高温での動作にも有利である。

電界効果トランジスタ(FET)はダイヤモンドに期待されている半導体デバイスの1つである。FETは、ゲート電圧を印加することによってソース・ドレイン電極間に流れる電流を変調させるデバイスである。FETの導通損失やスイッチング損失を低減するためには、電流を担う電荷キャリアの移動しやすさの指標である移動度が高いことが望ましい。しかし、これまでに報告されたダイヤモンドFETのチャネル移動度は多くの場合 $200 \text{ cm}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$ 以下に留まっていた。これは、堆積によって形成されたアモルファスのゲート絶縁体及びダイヤモンド/ゲート絶縁体界面の質が不十分であるためであると考えられる。

本研究では、ゲート絶縁体として単結晶の六方晶窒化ホウ素(h-BN)を用いて、ダイヤモンドFETを作製した。物質・材料研究機構では高品質なh-BN単結晶を合成している。また、h-BNは2次元層状物質であるためスコッチテープによって容易にへき開することができ、ファンデルワールス力によってダイヤモンド基板上に貼り合わせ可能である。さらに水素終端ダイヤモンド表面を大気に晒さずにh-BNゲート絶縁体を貼り合わせることによって大気由来の荷電不純物密度も低減させた。その結果、高い移動度を得ることに成功した。

■ 活動内容

1. ダイヤモンドFETの作製

ダイヤモンド(111)単結晶基板上にFETを作製した。ダイヤモンド表面は、水素プラズマに晒して水素終端化した。水素終端化したダイヤモンドは大気に晒さずにAr雰囲気グローブボックスへ真空搬送し、その中でゲート絶縁体となるh-BN薄片を貼り合わせた。その後、グローブボックスから取り出し、電極形成や素子分離などの微細加工を行い、FETを作製した(図1)。

2. FETのデバイス特性の評価

室温でデバイス特性を評価した。負のゲート電圧の印加によってドレイン電流値が増加するP型のFET動作に成功した。ホール効果測定から評価したチャネル移動度は、最大で $680 \text{ cm}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$ であった。この移動度は、電流を担うキャリアの密度が高い領域で従来の最高値よりも2倍程度高い。高い移動度のために、小さなオン抵抗($1.4 \text{ k}\Omega$)や高いドレイン電流密度(200 mAmm^{-1})を得ることができた。これらは損失の低減や大電流化に適した特性である。一方、オンオフ比も 10^8 と高い。更に、ゲート電圧を印加していない時には電流が流れないノーマリーオフ動作も同時に実現した。これは安全上、電力制御用の半導体デバイスに望まれる動作である。このように我々は世界最高水準の特性を示す高性能ダイヤモンドFETの作製に成功した。

■ 関連情報等(特許関係、施設)

- Y. Sasama et al., APL Mater. 6, 111105 (2018).
- Y. Sasama et al., Phys. Rev. Mater. 3, 121601(R) (2019).
- Y. Sasama et al., J. Appl. Phys. 127, 185707 (2020).
- Y. Sasama et al., arXiv:2102.05982.

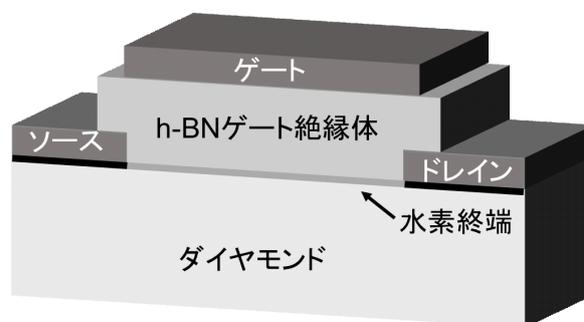


図1 h-BNゲート絶縁体を用いたダイヤモンドFETの模式図。

代表発表者 笹間 陽介(ささま ようすけ)
 所属 国立研究開発法人 物質・材料研究機構
 国際ナノアーキテクトニクス研究拠点
 表面量子相物質グループ
 問合せ先 〒305-0044 茨城県つくば市並木 1-1
 TEL:029-851-3354(ext. 4884) FAX:029-860-4793
 SASAMA.Yosuke@nims.go.jp

■キーワード: (1)ダイヤモンド
 (2)電界効果トランジスタ(FET)
 (3)高移動度
 ■共同研究者: 蔭浦 泰資, 井村 将隆,
 渡邊 賢司, 谷口 尚, 内橋 隆, 山口 尚秀
 (物質・材料研究機構)