

課題番号	: F-17-WS-0060
利用形態	: 共同研究
利用課題名(日本語)	: ワイドバンドギャップ半導体素子の特性評価
Program Title (English)	: Development of high-performance wide-bandgap semiconductor devices and their mounting technology
利用者名(日本語)	: 平岩 篤 <sup>1)</sup> , 前田世蓮 <sup>2)</sup> , 大久保 智 <sup>3)</sup>
Username (English)	: <u>Atsushi Hiraiwa</u> <sup>1,2)</sup> , Seren Maeda <sup>2)</sup> , Satoshi Okubo <sup>3)</sup>
所属名(日本語)	: 1)名古屋大学未来材料・システム研究所, 2)早稲田大学大学院基幹理工学研究科, 3)早稲田大学電子物理システム学科
Affiliation (English)	: 1) Inst. Mater. Sci. Syst. Sustain., Nagoya Univ., 2) School Fund. Sci. Eng., Waseda, Univ., 3) Dept. Electron. Phys. Syst., Waseda Univ.,
キーワード/Keyword	: 電気計測, MIS 電界効果トランジスタ (MISFET)、二次元ホールガス(2DHG)、オン電流、オフ電流、ALD

## 1. 概要 (Summary)

IGZO, ダイヤモンド, GaN および Si を半導体基板に用い金属絶縁膜半導体(MIS)キャパシタおよび MIS 電界効果トランジスタ (MISFET) を作成し, その特性を測定した。また, 表面状態を変えて試料を作成し, 貼合せ試験を行った。ここでは, 二次元ホールガス(2DHG)を用いたダイヤモンド縦型 MISFET について報告する。その他結果に関しては, 参考文献を項番4に一覧にて示す。

## 2. 実験 (Experimental)

### 【利用した主な装置】

電子ビーム蒸着装置, アトミックレイヤデポジション (ALD) 装置, 両面マスクアライナ, 高耐压デバイス測定装置。

### 【実験方法】

低抵抗 p 型ダイヤモンド基板 (IIb) 上にダイヤモンドの非ドーピング膜をエピタキシャル成長させた後, イオン注入により  $1\mu\text{m}$  の深さに N を導入した (Fig. 1 (A))。比較用に, N を添加しながらダイヤモンド膜を  $300\text{nm}$  エピタキシャル成長させた試料も作成した (Fig. 1 (B))。N 濃度はいずれも  $1 \times 10^{19}\text{cm}^{-3}$  である。これら基板に溝を形成した後,

非ドーピング膜のエピタキシャル成長, Ti/Au 蒸着・アニール (ソース電極), 表面の水素終端処理, 選択的酸素終端処理 (素子分離), ALD 法による  $\text{Al}_2\text{O}_3$  膜形成 (ゲート絶縁膜), Al 蒸着 (ゲート電極), 裏面への Ti/Au 蒸着 (ドレイン電極) を順次行い試料を完成させた。

## 3. 結果と考察 (Results and Discussion)

### 3.1 本検討の背景

ダイヤモンドにはパワー素子に適した数々の特性がある一方で, ドーパント (B) 準位が深い ( $370\text{meV}$ ) ために室温では抵抗が比較的高いという問題がある。水素終端ダイヤモンド表面に誘起される 2DHG はこの問題と無縁であるので, 我々はこれを用い横型 MISFET を開発し高温高耐压動作を実現するとともに縦型 MISFET の動作にも成功したが, オフ電流の低減が課題となっていた。このためには電流を遮断する N ドープ層の最適設計が重要であるので, 上記 2 方法の間で比較検討した。

### 3.2 オン電流 ( $I_{DS} - V_{DS}$ 特性)

$V_{DS} = -50\text{V}$  に対するドレイン電流が, イオン注入試料と

CVD 試料においてそれぞれ  $230, 190\text{mA/mm}$  となり横型 MISFET 並の特性を得た。

### 3.3 オフ電流 ( $I_{DS} - V_{GS}$ 特性)

N 層形成法によらずオン電流とオフ電流の比として  $10^9$  という高い値が得られており (Fig.2), オン電流を犠牲にすることなくリーク電

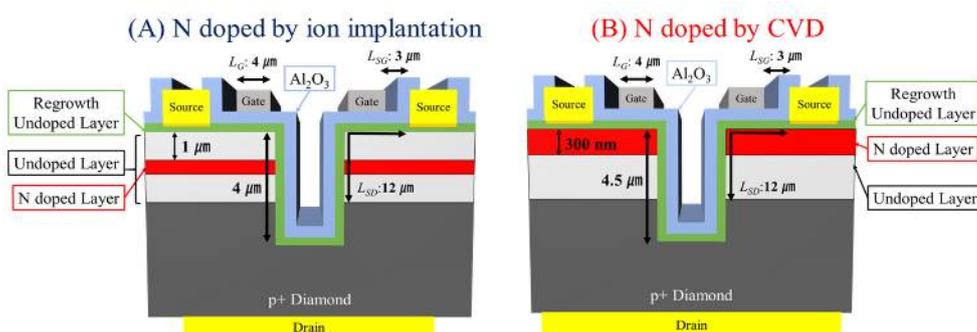


Fig. 1 Cross sections of vertical diamond 2DHG MISFETs in this study.

流を効果的に低減できている。

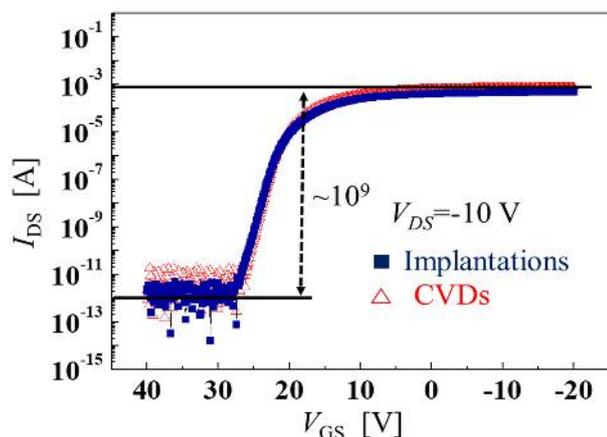


Fig. 2  $I_{DS}$ - $V_{GS}$  characteristics of vertical diamond 2DHG MISFETs.

### 3.4 絶縁耐圧

Fig. 3 に示すように、絶縁耐圧はイオン注入試料と CVD 試料においてそれぞれ-250 と-360V であり、横型 MISFET より低い。デバイスシミュレーションの結果によると N ドープ層の溝端において電界集中が生じており、これが絶縁耐圧を低下させていることが明らかになった。今後、電界緩和構造を検討していく。

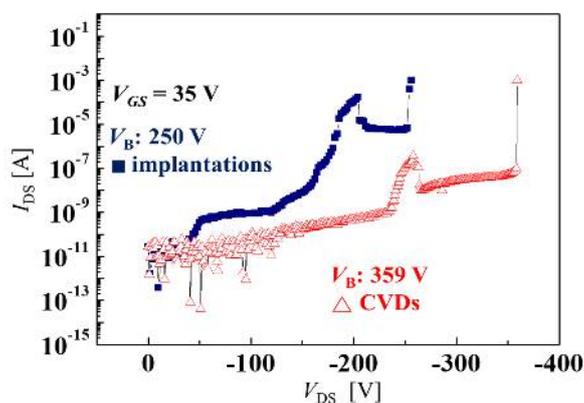


Fig. 3 Blocking characteristics of vertical diamond 2DHG MISFETs.

### 4. その他・特記事項 (Others)

#### ・参考文献

- 1) Y. Kitabayashi, T. Kudo, H. Tsuboi, T. Yamada, D. Xu, M. Shibata, D. Matsumura, Y. Hayashi, M. Syamsul, M. Inaba, A. Hiraiwa, and H. Kawarada, IEEE Electron Dev. Lett. **38** (2017) 363.
- 2) H. Kawarada, T. Yamada, D. Xu, H. Tsuboi, Y. Kitabayashi, D. Matsumura, M. Shibata, T.

Kudo, M. Inaba, and A. Hiraiwa, Sci. Rep. **7** (2017) 42368.

- 3) M. Inaba, T. Muta, M. Kobayashi, T. Saito, M. Shibata, D. Matsumura, T. Kudo, A. Hiraiwa, and H. Kawarada, Appl. Phys. Lett. **109** (2016) 033503.

#### ・関連文献

- (1) 山本あおい, Bi Te, 工藤拓也, 大井信敬, 大久保智, 平岩 篤, 川原田洋, 第 31 回ダイヤモンドシンポジウム, 2017 年 11 月 20-22 日。
- (2) 岩瀧 雅幸, 大井 信敬, 工藤 拓也, 牟田 翼, 露崎 活人, 大久保 智, 蔭浦 泰資, 稲葉 優文, 小野田 忍, 平岩 篤, 川原田 洋, 第 31 回ダイヤモンドシンポジウム, 2017 年 11 月 20-22 日。
- (3) 矢部太一, 工藤拓也, 大井信敬, 河合空, Jorge J. Buendia, 梶家美貴, 大久保智, 堀川清貴, 蔭浦泰資, 河野省三, 平岩篤, 川原田洋, 第 31 回ダイヤモンドシンポジウム, 2017 年 11 月 20-22 日。
- (4) 今西祥一朗, 大井信敬, 工藤拓也, 大久保智, 堀川清貴, 平岩 篤, 川原田洋, 第 31 回ダイヤモンドシンポジウム, 2017 年 11 月 20-22 日。
- (5) S. Okubo, et al., 2017 MRS Fall Meeting, EM05.09.19.
- (6) N. Oi, et al., 2017 MRS Fall Meeting, EM06.04.04.
- (7) S. Kono, et al., Diamond Relat. Mater. **80** (2017) 93.
- (8) M. Inaba, et al., Phys. Status Solidi B **254** (2017) 1770249.
- (9) A. Hiraiwa, et al., iLIM-2 (2017) P-iLIM-2-45.
- (10) A. Hiraiwa, et al., 2017 MRS Fall Meeting, EM04.06.01.

#### ・共同研究者

早稲田大学ナノ・ライフ創新研究機構 水野 潤

### 5. 論文・学会発表 (Publication/Presentation)

なし。

### 6. 関連特許 (Patent)

なし。

### 7. 謝辞

本研究においては、学際・国際的高度人材育成ライフイノベーションマテリアル創製共同研究プロジェクト(文科省)の支援を得た。