

課題番号 : F16-WS-0024  
 利用形態 : 共同研究  
 利用課題名(日本語) : Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>膜を用いたダイヤモンド MISFET の高温特性  
 Program Title (English) : High temperature characteristics of diamond MISFETs consisting of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> films  
 利用者名(日本語) : 平岩 篤<sup>1)</sup>, 金田 達志<sup>2)</sup>, 大久保 智<sup>3)</sup>  
 Username (English) : Atsushi Hiraiwa<sup>1)</sup>, Tatsushi Kaneda<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.,

### 1. 概要(Summary)

IGZO、ダイヤモンドおよび Si を半導体基板に用い MIS キャパシタおよび 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、貼り合わせ試験を行った。ここでは、2016年10月から11月までの期間に利用して得た結果の内、二次元ホールガス(2DHG)を用いたダイヤモンド MISFET の高温動作に関し報告する。その他結果に関しては、これらを報告した文献を項番5に一覧にて示す。

### 2. 実験(Experimental)

#### 【利用した主な装置】

ダイシングソー、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、電子ビーム蒸着装置、イオンビームスパッタ装置、高性能分光膜厚測定装置、高耐圧デバイス測定装置、他。

#### 【実験方法】

ダイヤモンド基板上にホモエピタキシャル成長(早大理工装置を使用)を行った後、主に前洗浄、薄膜形成、ホトリソグラフィ、リフトオフ、アニール(適宜)からなる一連の工程を反復し MISFET を作成した。MIS キャパシタは、前洗浄、薄膜形成、熱処理(適宜)、マスク抵抗加熱蒸着(早大材研装置を使用)、イオンビームスパッタリング・蒸着を順次行い作成した。

これら試料の高温あるいは高耐圧測定には高耐圧デバイス測定システムを、その他には主に低電圧・低電流測定装置を使用した。

### 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、絶縁耐圧が高く、熱伝導率が物質中最高(20Wcm<sup>-1</sup>K<sup>-1</sup>)であるという特長

がある。これを用いた電力素子は SiC 素子・GaN 素子を凌駕するものと期待されるが、不純物準位が深い(p型用 B で 370meV)のために抵抗が高く期待に十分応えていないのが現状である。他方で、ダイヤモンドには水素化表面に 2DHG が生ずるという性質もあり、我々はこれを導電層に用いて上記深い準位の問題とは無縁の MISFET を開発してきた<sup>1)</sup>。高温動作が必要な電力素子に上記 2DHG を適用する際の課題は、これを高温・酸化性の環境から如何に保護するかであり、我々は H<sub>2</sub>O 酸化剤を用いた高温(450°C)の ALD により Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 膜をゲート絶縁膜兼保護膜として形成しこれを解決してきた(Fig.1)<sup>2)</sup>。ここでは、同 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 膜を用いた MISFET の高温特性について報告する<sup>3)</sup>。

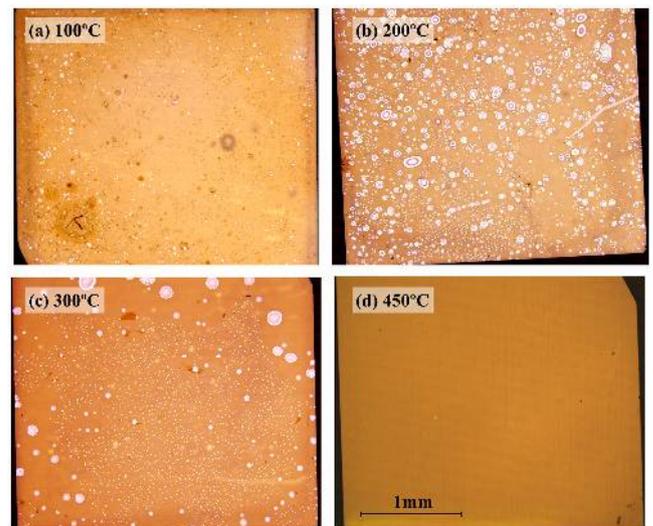


Fig.1 Appearance of ALD-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> films prepared on diamonds annealed at 550 °C<sup>2)</sup>.

#### 3.2 実験結果

上記高温 ALD-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 膜を 200 nm 形成しゲート絶縁膜

として用いた MISFET は、673K においても FET 動作し、かつピンチオフする(オフとなる)ことを確認した(Fig.2)。また、同測定終了後に室温に戻して測定した特性は、加熱前の特性に近い(Fig.3)。これは Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 膜を高温(732K)にて形成した効果である。また、573K まではオフ電流が少なく、約 8 桁のオンオフ比が得られ、2DHG を用いた効果が遺憾なく発揮されていることが分かる(Fig.4)。

### 3.3 結果の考察

加熱によりオン電流が若干低下したものの、低電流特性は向上(S パラメータが減少)した。同加熱温度は成膜温度より低いので Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 膜内部に何らかの変化が生じた可能性は低い。ゲート電極に用いている Al が活性であり酸化され易いので Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> との間で何らかの反応が生じた結果であると考えているが、さらなる検討が必要である。

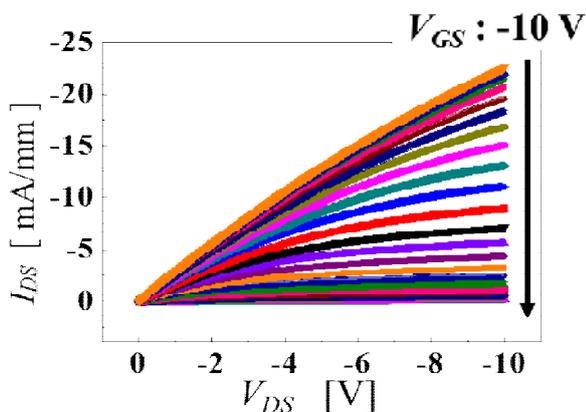


Fig.2  $I_{DS}$ - $V_{DS}$  characteristics of diamond 2DHG-MISFET at 673K<sup>3)</sup>

### 4. その他・特記事項(Others)

- ・参考文献 1) H. Kawarada, et al., Appl. Phys. Lett. 105, 013510 (2014).
- 2) A. Hiraiwa, et al., J. Appl. Phys. 117, 215304 (2015).
- 3) 大井, 他, 第 30 回ダイヤモンドシンポジウム, 2016 年 11 月 16-18 日(口頭).
- ・関連文献 (1) 稲葉優文, 関 章憲, 佐藤和明, 榎田知義, 平岩 篤, 川原田 洋, 第 30 回ダイヤモンドシンポジウム, 2016 年 11 月 16-18 日(口頭).
- (2) A. Hiraiwa, D. Matsumura, H. Kawarada, 2016 MRS Fall Meeting, EM11.3.08.
- (3) T. Kudo, Y. Kitabayashi, D. Matsumura, Y. Hayashi, M. Inaba, A. Hiraiwa, and H. Kawarada, 2016 MRS Fall Meeting, EM11.4.3/EM12.8.3.
- (4) K. Igarashi, T. Naramura, S. Falina, S. Abe, M. Inaba, Y. Shintani, A. Hiraiwa, and H.

- Kawarada, 2016 MRS Fall Meeting, EM12.16.05.
- (5) T. Muta, N. Oi, M. Inaba, T. Saito, D. Matsumura, T. Kudo, A. Hiraiwa, and H. Kawarada, 2016 MRS Fall Meeting, EM12.9.03.
- ・共同研究者: 早稲田大学理工学術院 川原田 洋。

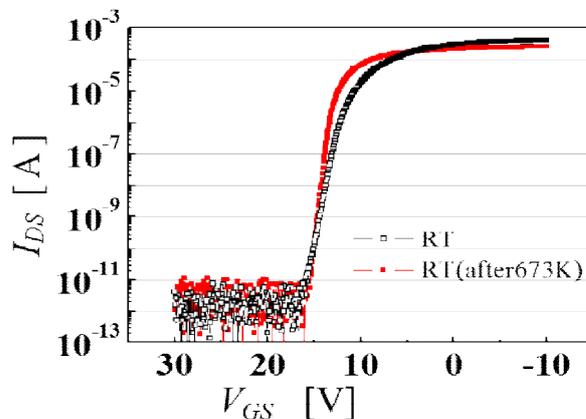


Fig.3  $I_d$ - $V_g$  characteristics before and after high-temperature measurement<sup>3)</sup>.

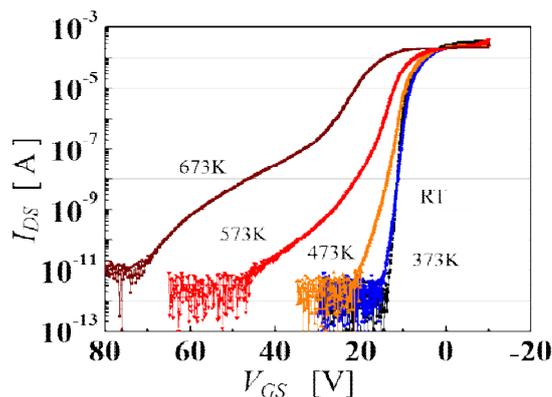


Fig.4  $I_d$ - $V_g$  characteristics changing temperature<sup>3)</sup>.

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

- (1) T. Kamiya, K. Ide, H. Hiramatsu, Y. Setsuhara, A. Hiraiwa, H. Kawarada, and H. Hosono, iLIM-1 (2016), PT-5.
- (2) K. Ide, M. Ota, K. Takenaka, Y. Setsuhara, A. Hiraiwa, H. Kawarada, H. Hiramatsu, H. Hosono, and T. Kamiya, iLIM-1 (2016), PT-56.

### 6. 関連特許(Patent)

なし。