

課題番号	: F-17-WS-0031
利用形態	: 共同研究
利用課題名(日本語)	: 高性能ワイドバンドギャップ半導体素子および同実装技術の研究
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),2)</sup> , 前田世蓮 <sup>3)</sup> , 大久保 智 <sup>4)</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. , Waseda Univ.,
キーワード/Keyword	: 成膜・膜堆積、ALD, イオンビームスパッタリング装置

## 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, 貼合せ試験を行った。ここでは, 2017年4月から2017年7月までの期間に利用して得た結果の内, 東工大殿に検討を依頼した IGZO を半導体とした原子層堆積(ALD) Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ゲート絶縁膜の電気特性について報告する。その他結果に関しては, その文献を項番4に一覧にて示す。

## 2. 実験(Experimental)

### 【利用した主な装置】

スピコート, ダイシングソー, 洗浄装置, ALD 装置, 3連電気炉, イオンビームスパッタリング装置, 分光エリプソメータ, 低電圧・低電流測定装置。

### 【実験方法】

n<sup>+</sup>-Si 基板 (1-1.5mΩcm) に対して, アンモニア・過水溶液 (77°C) を用いた洗浄, ALD による Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 膜形成 (450°C, 33nm) を行った後, 東工大フロンティア材料研究所にて RF スパッタリング法により IGZO 膜 (100nm) を形成いただいた (担当: 井出先生)。その後, アニール (300°C), Au のマスク抵抗加熱蒸着 (早大材研装置を使

用), IGZO の希硝酸溶液を用いたウェットエッチング, 裏面へのイオンビームエッチング・Ti/Au 蒸着を順次行い, 金属絶縁膜半導体 (MIS) 型キャパシタを作成した (Fig. 1)。これら試料の Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, IGZO 膜厚測定には分光エリプソメータ, 電流-電圧 (I-V) 特性測定には低電圧・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

Si・SiC 以外の半導体を用いた MIS 型電界効果トランジスタ (MISFET) のゲート絶縁膜には ALD-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 膜が有望であるが<sup>1)</sup>, その実用化に向け電氣的信頼性のさらなる向上が期待されている。このため, 電気特性を決定する要因を明らかにするとともに特性改善の手がかりを得るべく, 半導体基板を変えて比較検討している。その一環として東工大殿と共同で IGZO を半導体基板とした MIS キャパシタを作成し, その電気特性を評価した。

### 3.2 電流-電圧 (I-V) 特性の測定結果 (Fig. 2)

実用的観点から酸化膜換算電界強度<sup>2)</sup>を揃えて比較すると, 電子が IGZO から放出される場合 (IGZO が陰極), SiO<sub>2</sub> 膜と比べ Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 膜の方がリーク電流が小さい (Fig. 2)。Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 膜同士で比較すると, 酸化剤にオゾンを用いた方がリーク電流が小さい。これは定性的に前回報告<sup>3)</sup>した Si 上の結果と同じであるが, リーク電流は小さい。IGZO をアニールする際の雰囲気の違いは結果にあまり影響しない。

### 3.3 I-V 特性のシミュレーション結果

Fig. 3 に示す Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 膜の帯電状態を仮定して SCC-FE モデル<sup>4)</sup>により計算した結果 (Fig. 2 の曲線) は, 上記測定結果 (プロット) と定量的によく一致する。ここで重要なのは, 多くの Fowler-Nordheim トンネリング解析の多くと異なり, 電流の大きさも計算により求めており, その結果が測定結果と一致することである。

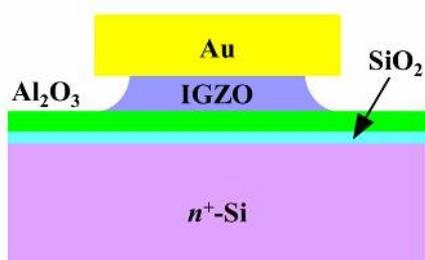


Fig. 1 Schematic cross section of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/IGZO MIS capacitors formed in this study.

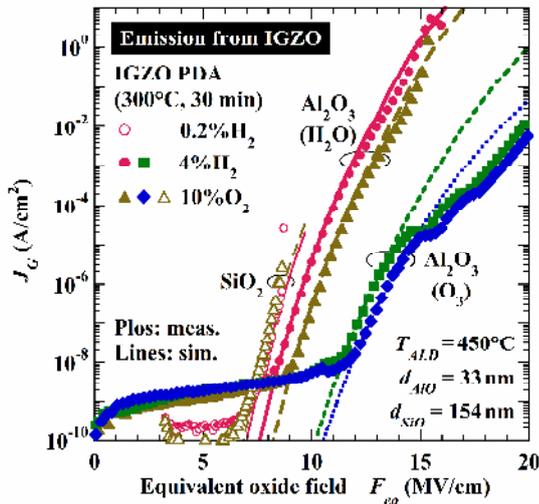


Fig. 2  $I$ - $V$  curves of  $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{IGZO}$  MIS capacitors for electron emission from IGZO.

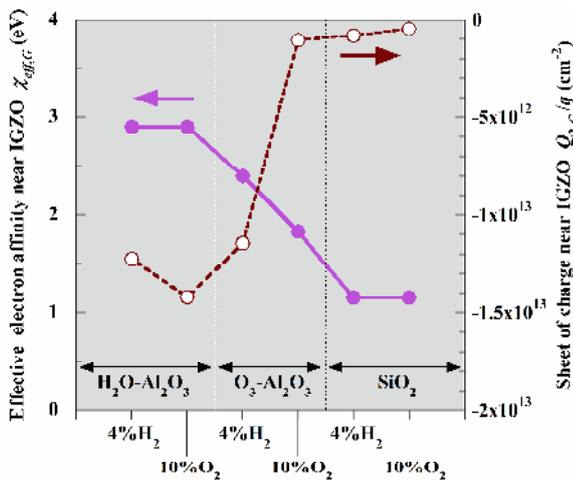


Fig. 3 Charging of  $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{IGZO}$  MIS capacitors as figured out by SCC-FE analysis.

酸化剤に  $\text{H}_2\text{O}$  を用いた  $\text{Al}_2\text{O}_3$  膜においては、IGZO 膜付近における実効的な電子親和力が  $\text{O}_3$  形成膜より大きく、負の帯電量も多い。実効電子親和力が大きいとリーク電流が流れ易く、負の帯電量が多いとリーク電流が流れにくくなり、両者は相反する作用を有する。結果的にリーク電流が  $\text{O}_3$  形成膜より大きいので、前者の大きな実効電子親和力がより大きく影響していることが分かる。なお、実効電子親和力は、実際の電子親和力と  $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{IGZO}$  界面のダイポールによるポテンシャル変化との和であるので、 $\text{H}_2\text{O}$  形成膜では  $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{IGZO}$  界面にダイポールが多数形成されている可能性がある。

IGZO を形成しなかった前回試料<sup>3)</sup>においては、Si 基板付近の実効電子親和力が今回とほぼ同じであるものの、大きく正に帯電しておりこれがリーク電流を大きくしていた。ちなみに、IGZO を形成した今回の試料においては、Si 近傍の正の帯電量をほぼ維持しながら実効電子親和力が  $0.8\text{eV}$  へと減少しており、IGZO 成膜時のスパッタリングにより  $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$  界面ダイポールが変化している。

#### 4. その他・特記事項 (Others)

・参考文献

- (1) NTRC 課題番号 F16WS-0024 報告書 (2016.10.19)。
- (2) A. Hiraiwa, et al., J. Appl. Phys. **120**, 084504 (2016)。
- (3) NTRC 課題番号 F16WS-0024 報告書 (2017.2.28)。
- (4) A. Hiraiwa, et al., J. Appl. Phys. **119**, 064505 (2016)。

・関連文献

- (1) M. Inaba, A. Seki, K. Sato, T. Kushida, T. Kageura, H. Yamano, A. Hiraiwa, and H. Kawarada, Phys. Status Solidi B, 1700040 (2017)。
- (2) S. Okubo, D. Matsumura, K. Horikawa, A. Hiraiwa, and H. Kawarada, 2017 Inter. Conf. Solid State Dev. Mater., O-4-01 (2017)。
- (3) N. Oi, T. Kudo, T. Muta, S. Okubo, I. Tsuyuzaki, T. Kageura, M. Inaba, S. Onoda, A. Hiraiwa, H. Kawarada, 2017 Inter. Conf. Solid State Dev. Mater., N-6-04 (2017)。

・共同研究者

早稲田大学ナノ・ライフ創新研究機構 水野 潤

・他機関の利用: 東京工業大学

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

なし。

#### 6. 関連特許 (Patent)

なし。