

## Ga ベース液体金属合金から剥離した 2 次元酸化膜の評価とデバイス応用

前田 直輝

Naoki MAEDA

電子情報学専攻修士課程 2年

### 1. はじめに

私は、2022年3月22日から26日にかけて、オンライン及び青山学院大学相模原キャンパスでのハイブリッド開催となった、第69回応用物理学会春季学術講演会に参加し、「Ga ベース液体金属合金から剥離した 2 次元酸化膜の評価とデバイス応用」という題目で研究発表を行った。

### 2. 研究背景

Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> は非層状の Ga 系半導体であり、4.5~4.9 eV の高いバンドギャップから、高い絶縁破壊耐性を有している為、ハイパワー電子デバイス等への応用が期待されている。しかし、Ga 族半導体の多くは共有結合を持ち、非層状であるため、原子サイズの超薄膜の直接的な剥離が課題点である。しかし、近年 Ga ベース液体金属合金を用いることで、簡易に高品質かつ極薄の Ga 酸化膜を入手することが可能であることがわかった。本研究では、Ga ベース液体金属合金の表面に形成される高品質かつ極薄の 2 次元酸化膜を簡易に入手し、2 次元酸化膜を用いたデバイスへの応用を検討した。

### 3. 実験方法

Ga ベース液体金属合金の表面から 2 次元酸化膜を剥離する際の手順を示す。初めに 1 cm 角の基板上 (SiO<sub>2</sub>/Si, Au/Ni/SiO<sub>2</sub>/Si) に直径 1 mm の Ga ベース液体金属合金を着滴した。その後、もう一つの基板 (SiO<sub>2</sub>/Si, Au/Ni/SiO<sub>2</sub>/Si) で Ga ベース液体金属合金液滴を上から押しだすように潰し、Ga ベース液体金属合金から基板上に 2 次元酸化膜を転写した。

次に、沸騰したエタノール (C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>O) 中に 2 min 浸漬し、綿棒を用いて基板上に付着した液体金属合金を除去した後に、超純水に 1 min 浸漬し、エタノールを除去した。その後、転写された酸化膜上に直径 500 μm の上部電極 Au を成膜した。図 1 に 2 次元酸化膜の転写手順を示す。

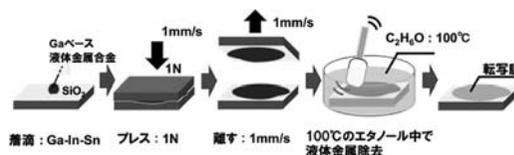


図 1 2 次元酸化膜転写手順

### 4. 実験結果

#### 4.1 基板上に転写した 2 次元酸化膜の観察

図 2 に、転写した 2 次元酸化膜の光学顕微鏡像 (a) 及び原子間力顕微鏡像 (b)、断面プロファイル (c) を示す。光学顕微鏡像より、Ga ベース液体金属合金が 100 μm 以上のスケールで転写されていることを確認。また、転写膜は連続的であることを確認した。

AFM によって観察した表面形状像及び断面プロファイルから、転写された 2 次元酸化膜の表面粗さは 2 nm 以下と、高いレベルで均質であることを確認した。また、断面プロファイルから 2 次元酸化膜の膜厚は約 3 nm となり、極薄の薄膜であることも確認した。

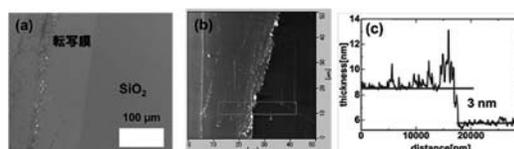


図 2 2 次元酸化膜の観察結果 (a) 光学顕微鏡像, (b) AFM 像, (c) 断面プロファイル

#### 4.2 2 次元酸化膜の元素分析

図 3 (a) 2 次元酸化膜の走査型電子顕微鏡像 (SEM 像) 及び図 3 (b) にエネルギー分散型 X 線分析装置 (EDS) による 2 次元酸化膜の定量分析結

果, (c) に透過型顕微鏡 (TEM) による断面 TEM 像を示す. SEM 像において基板と2次元酸化膜の境界を観測した. また, 基板と2次元酸化膜の境界を観察したところ, 基板部分では Ga の検出は確認されなかったが, 2次元酸化膜との境界以降では40程度と微量ながら Ga のスペクトルを検出した.

図3 (c) より転写された2次元酸化膜から Ga と O の元素スペクトルが検出されたことから, 2次元酸化膜は GaOx であることがわかった. また, 液体金属合金の材料として In 及び Sn を添加しているが In 及び Sn の元素スペクトルが確認されなかった. このことから転写された酸化膜に In, Sn は含まれていないと考えられる.

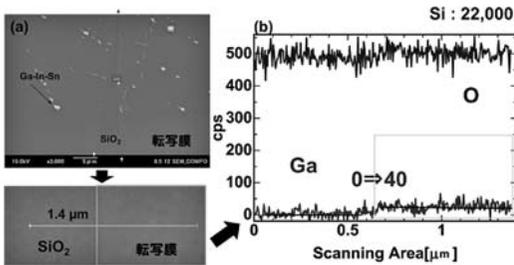


図3 (a) 2次元酸化膜の SEM 像, (b) 2次元酸化膜の定量分析結果

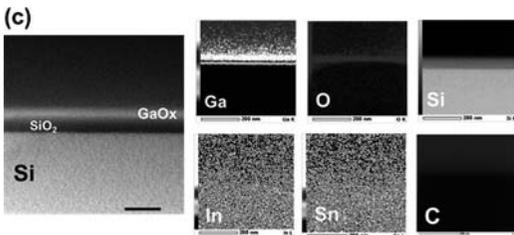


図3 (c) 断面 TEM 像及び元素分析結果

### 4.3 GaOx を用いた抵抗変化型素子

図4 (a) に作製した抵抗変化型素子の素子構造を示す. また, 図4 (b) に抵抗変化型素子の電流電圧特性を示す.  $-2.5\text{ V}\sim 2.5\text{ V}$  の間で掃引的に電圧を印加した結果,  $-1.7\text{ V}$  で低抵抗化を確認し,  $+1\sim 2\text{ V}$  の間で高抵抗化を確認した. 初期抵抗は  $10^8\Omega$  と高抵抗状態であったが, 低抵抗化後は  $10^5\Omega$  となり, ON/OFF 比は  $10^3$  となった. よって, Ga ベース液体金属合金から転写した2次元酸化膜を用いた抵抗変化型素子の作製に成功したと考えられる.



図4 (a) 抵抗変化型素子の素子構造

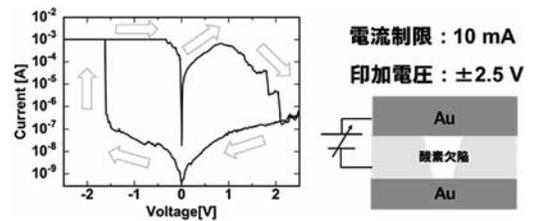


図4 (b) 抵抗変化型素子の電流電圧特性

## 5. まとめ

Ga ベース液体金属合金から GaOx を入手し観察, 評価を行い, デバイスへの応用に成功した.

### 謝辞

今回の研究にあたりご指導いただきました山本伸一先生及び今井崇人先生に心から感謝いたします.