

# 高感度炎センサの実現に向けた 酸化ガリウム結晶薄膜の作製

## GROWTH OF GALLIUM OXIDE THIN FILMS FOR HIGH-SENSITIVE FRAME SENSORS

宇野和行<sup>1</sup>  
Kazuyuki UNO

<sup>1</sup>システム工学部准教授

炎は、成層圏にあるオゾン層でカットされて地上に届いていない波長250 nm以下のソーラーブレインド光をわずかに発している。この光を高感度に検出すれば、昼夜の区別なく火災が生じているかどうかをリモートセンシングで検出することができる。紫外光である波長250 nmの光の検出に適した材料に酸化ガリウム( $\text{Ga}_2\text{O}_3$ )がある。酸化ガリウムは禁制帯幅が大きな半導体であるため、光学フィルタなしで250 nm以下の波長の光だけを検出することができる。センサとするためには高品質な酸化ガリウム薄膜が必要であるが、今回、独自の原料を用い、 $\alpha$ 型酸化ガリウムでトップクラスの品質である、ロッキングカーブ半値幅43秒の薄膜の作製に成功した。

**キーワード:** 炎センサ, 紫外線検出, 酸化ガリウム, ミストCVD法

### 1. はじめに

地震に付随する重大な災害に大規模火災がある。1995年の阪神・淡路大震災では火災が被害を拡大させた。上空から火災が生じたことを広域検出できれば、火災被害の拡大防止や初期対応をとることができる。炎の検出方法には、周辺温度を感知する方法や近赤外線を感知する方法がある。周辺温度を感知する方法は、熱源との距離が近くなければならない。近赤外線を感知する方法は、簡便ではあるが、確実性に欠ける。なぜなら、近赤外線は太陽光線にも多量に含まれるし、環境内にさまざまな形で存在するからである。

火災であることを確実に検出する方法の一つが、炎がわずかに発生する250 nm以下の波長を検出する方法である。この波長域は地球の成層圏にあるオゾン層が吸収しているため地上には存在しない光、ソーラーブレインド光のため、環境の影響を受けないからである。この領域の紫外光を検出する炎センサには真空管式のものがあり、浜松ホトニクス株式会社からUV Tronという商品名で数種類が販売されている。しかし真空管であるために二次元アレイ化して画像化することが難しい。炎の発生を画像でとらえたいければ、一般的なカメラに用いられているシリコンの撮像素子に250 nm以下の光だけを通す光学フィルタを組み合わせることになる。しかし、波長

250 nm以下の光学フィルタの作製は材料の選定や膜厚の精密制御の観点で技術的に難しい点が多い。

そこで本研究では、波長250 nm以下の光のみを吸収する酸化ガリウムに注目し、高品質な酸化ガリウム薄膜の成長を目指した。炎センサの高感度化には薄膜の高品質化が必須だからである。酸化ガリウムは大電力を制御するためのハイパワー用半導体材料としてここ数年注目を集めている材料である。京都大学で開発されたミストCVD法で、水溶液を原料に用いてサファイア基板上に作製できることが報告されている<sup>2)</sup>。しかし、原料由来の炭素不純物の存在によって高品質化することが困難であった<sup>3)</sup>。本研究では、独自に原料作製方法を開発し、最高レベルの品質をもつ $\alpha$ 型酸化ガリウム薄膜を作製したのでその結果を報告する。

### 2. 酸化ガリウム薄膜の成長

#### (1) 結晶成長に用いたミストCVD成長装置

結晶成長に用いたミストCVD成長装置の構成を図-1に示す。3つの超音波振動子によって原料水溶液を直径2-3  $\mu\text{m}$ のドライミストにし、キャリアガスで石英管に運んだ上で希釈ガスで高温部に流し込むと、高温部に配した基板上に薄膜が成長する。酸化ガリウムを成長する際には、原料水溶液にガリウムイオンを含むものを用意する。成長様式は、水和したガリウムイオン原子が脱水すると

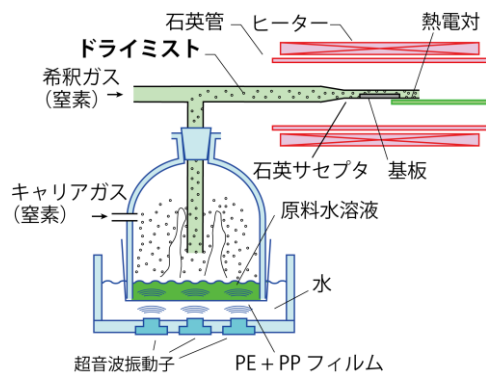


図-1 ミストCVD成長装置

きに酸化ガリウムが生成すると考えられる<sup>4)</sup>。

## (2) ガリウムイオンを含む水溶液の作製

ミストCVD成長に用いるガリウムイオンを含む原料水溶液には、これまでガリウムアセチルアセトナート ( $\text{Ga}(\text{acac})_3$ ) が用いられてきた。  $\text{Ga}(\text{acac})_3$  は水に難溶であるため、原料水溶液中のガリウムの濃度の不確実性が高い。最大の問題点はアセチルアセトナート基に含まれている炭素原子が酸化ガリウム中に  $10^{19} \text{cm}^{-3}$  と高濃度に取り込まれることである<sup>5)</sup>。炭素原子はアクセタ不純物として働くだけでなく、結晶品質の低下ももたらしていると考えられる。これを避ける方法としてヨウ化ガリウム水溶液を用いる方法が考案されている<sup>5)</sup>。

本研究が採用した方法は、金属ガリウムを塩酸に溶解させ、その溶液を用いることである<sup>6)</sup>。30%の塩酸に金属ガリウムを入れて室温で14-20日間放置すると、3 mol/L程度のガリウムイオンを含む水溶液ができる。これを希釈してミストCVD法の原料水溶液とした。

## 3. 高品質酸化ガリウムの評価

C面サファイア基板に、0.02 mol/Lのガリウムイオン濃度をもつ原料水溶液を用いて  $\alpha$  型酸化ガリウム薄膜を作製した。試料表面の原子間力顕微鏡像を図-2に示した。表面の凹凸はサファイア基板と酸化ガリウム薄膜の熱膨張係数の差によって生じたものと考えられる。

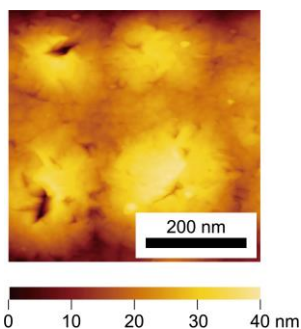


図-2 酸化ガリウム薄膜の表面AFM像

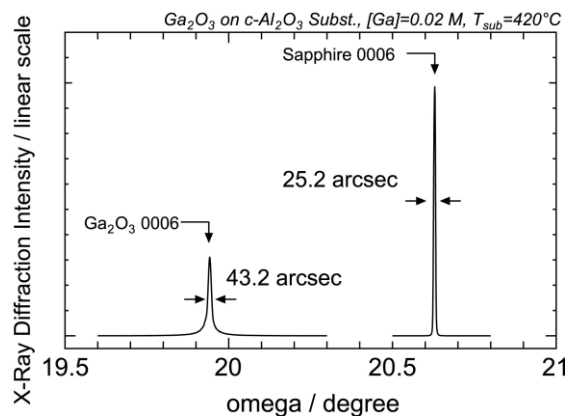


図-3 成長した酸化ガリウム薄膜のエックス線ロックキングカーブ測定結果

図-3にこの薄膜のエックス線ロックキングカーブ回折測定結果を示す。回折ピークの半値幅は結晶の方位揺らぎを示しており、狭いほど高品質であることを意味する。サファイア基板の半値幅が25.2秒であるのに対し、この酸化ガリウム薄膜の半値幅は43.2秒であった。現在報告されている最良値が36秒<sup>5)</sup>であるから、トップクラスの品質をもつ薄膜が得られたことになる。今後はMSM (金属-半導体-金属) 構造の炎センサの作製を行っていく予定である。

## 4. 結論

金属ガリウムを塩酸に溶解させて作製した原料水溶液を用いたミストCVD法で、サファイア基板上に  $\alpha$  型酸化ガリウム薄膜を成長した。その結果、ロックキングカーブ半値幅は43.2秒とトップクラスの品質をもつ薄膜の成長に成功した。今後は炎センサの作製を進めていく。

謝辞： エックス線ロックキングカーブ測定を快く引き受けて下さった鳥取大学の阿部准教授に感謝いたします。

## 参考文献

- 1) 浜松ホトニクス：炎センサ (UV トロン) ， < <https://www.hamamatsu.com/jp/ja/3007.html>> ， 2017年12月28日アクセス
- 2) Kaneko, K., Kawanowa, H., Ito, H., and Fujita, S.: Japanese Journal of Applied Physics, Vol. 51, p.020201, 2012.
- 3) Akaiwa, K. and Fujita, S.: Japanese Journal of Applied Physics, Vol. 51, p.070203, 2012.
- 4) Uno, K., Yamasaki, Y., and Tanaka, I.: Applied Physics Express, Vol.10, p.015502, 2017.
- 5) 株式会社FLOSFIA：特開2014-234344, 2014.
- 6) 和歌山大学：特願2016-213949, 2016.

(2017. 12. 15受付)