

軟X線光電子分光による窒化物半導体上に多層成膜した絶縁膜と半導体界面における電子状態解析

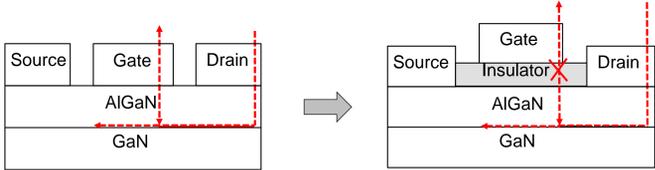
有馬幸記、久保俊晴、江川孝志 (名古屋工業大学)

E-mail: 27416504@stn.nitech.ac.jp, kubo.toshiharu@nitech.ac.jp

1. 研究背景

GaN系半導体を用いた高電子移動度トランジスタ(High Electron Mobility Transistor: HEMT)は次世代パワーデバイスとして期待されている。

金属/半導体構造のショットキーゲートのデバイスはゲートリーク電流が増加する問題があり、金属/絶縁体/半導体のMIS構造はゲートリーク電流を低減し、ゲートに高い電圧を印加することができる。

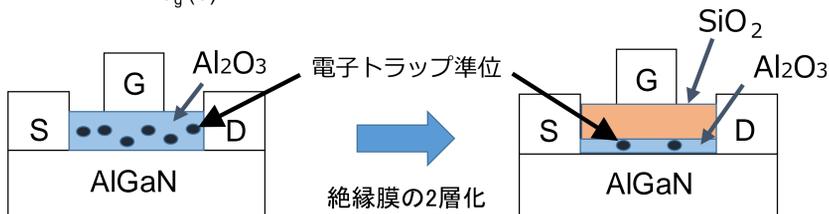
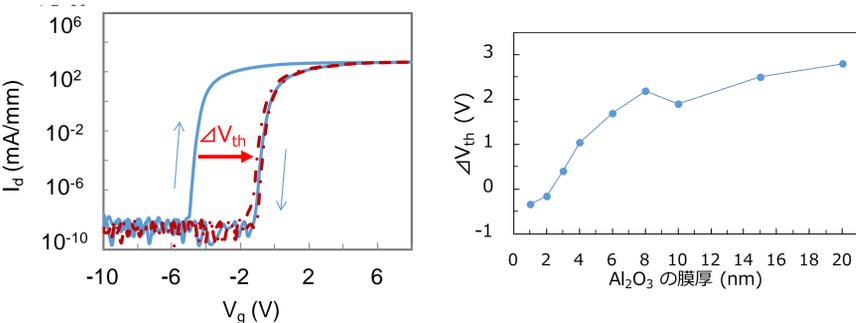


これまで、絶縁膜材料として Al_2O_3 、 HfO_2 を用い、その成膜方法として H_2O および O_3 を酸素プリカーサーとして使用した原子層堆積(ALD)によりMIS-HEMTを作製した結果、良好な I - V 特性を得ることが出来たが[1]、初期閾値電圧のシフト(ΔV_{th})が生じることが分かった。

$\text{Al}_2\text{O}_3/\text{AlGaN}$ 近傍の電子トラップが ΔV_{th} の原因と考えられることから、AlGaNに低ダメージで成膜できるALD- Al_2O_3 を最初に薄く堆積し、その後リーク電流低減のためプラズマ気相成長(PECVD)により SiO_2 をさらに成膜した2層絶縁膜を用いたMIS-HEMTを作製したところ、 Al_2O_3 膜の膜厚に依存して ΔV_{th} が減少した。

しかし、PECVD- $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ 界面近傍、特に Al_2O_3 膜への SiO_2 膜堆積の効果は明らかでないため、シンクロトロン光を用いたXPSで界面化学状態の変化を調べることとした。

[1] T. Kubo, et al., Semicond. Sci. Technol. 29 (2014) 045004.



2. 研究目的

PECVD- $\text{SiO}_2/\text{ALD-}\text{Al}_2\text{O}_3$ 界面付近の Al_2O_3 の化学状態を放射光を用いたX線分光を用いて、 SiO_2 の膜厚に対して評価する。

3. 実験方法

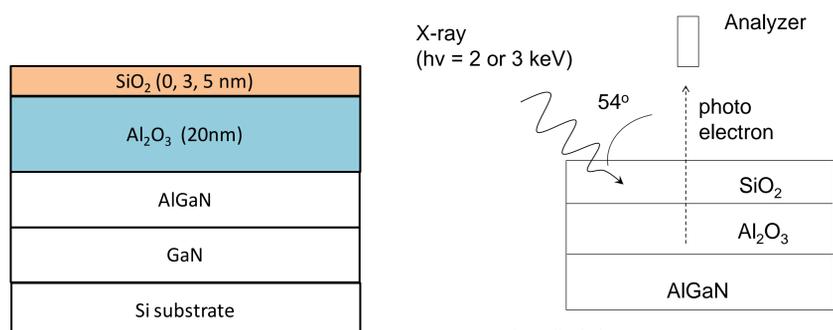
Al_2O_3 成膜条件

基板: AlGaIn/GaN/Si HEMT構造
前処理: HCl (1min).
成膜温度: 300°C
プリカーサー: TMA+ $\text{H}_2\text{O}+\text{O}_3$
膜厚: 20 nm

SiO_2 成膜条件

基板: $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{AlGaIn}/\text{GaN}/\text{Si}$ HEMT構造
前処理: Aceton × 2 (5 × 2min), IPA (5min).
成膜温度: 300°C
原料: SiH_4+NO
膜厚: 0, 3, 5 nm

X-ray photoelectron spectroscopy (XPS)測定

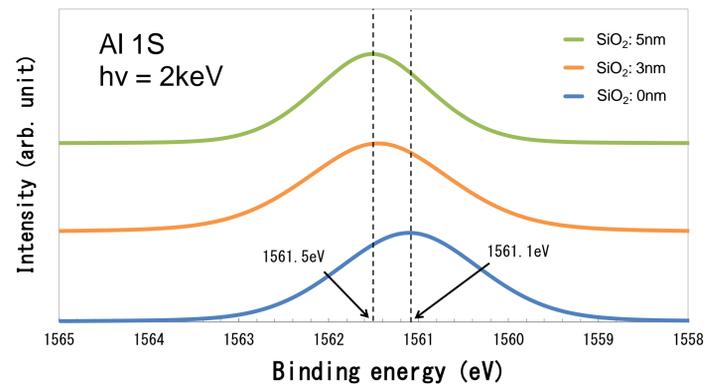


測定試料

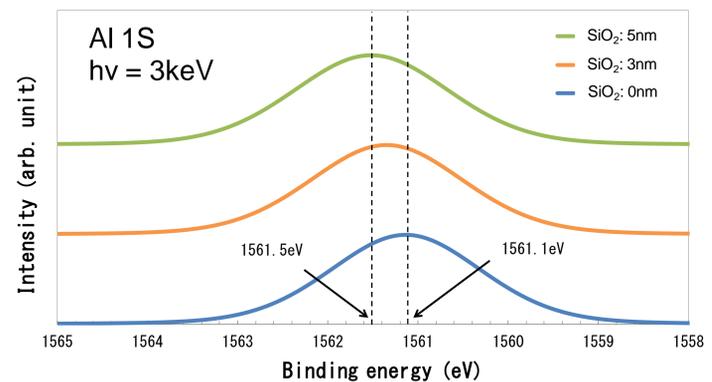
* 知の拠点あいちBeam line BL6N1
基準: C 1s: 285.0 eV
解析: COMPRO (表面科学会配布)

4. 実験結果および考察

PECVD- $\text{SiO}_2/\text{ALD-}\text{Al}_2\text{O}_3/\text{AlGaIn}$ 試料から得られたXPS Al 1sスペクトル

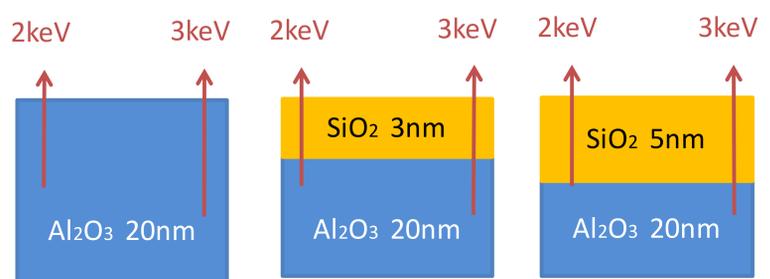


- X線エネルギー2keVを用いて測定したAl 1sスペクトルから、 SiO_2 を Al_2O_3 上にプラズマ成膜することにより、 Al_2O_3 は3nmの SiO_2 成膜で既に酸化が進行していることが分かる。また、さらに厚い5nm成膜の場合でもピーク位置はそれ程変化していないことが分かる。



- X線エネルギー3keVを用いて測定したAl 1s スペクトルから、 SiO_2 を Al_2O_3 上に3nmプラズマ成膜した場合でも Al_2O_3 の内部では酸化が進行していない領域が存在することが分かる。また、さらに厚い5nm成膜の場合でピーク位置は2keVの場合と一致したことから、界面近傍の Al_2O_3 の化学状態は SiO_2 を3nm成膜した場合と5nm成膜した場合でそれ程変化しないことが分かった。

光電子の脱出深さの模式図



- 上記のAl 1sスペクトルの測定結果におけるX線エネルギーおよび SiO_2 膜厚の組合せ(2keV, 3nm)および(3keV, 5nm)のピーク位置が等しいことから、界面近傍の Al_2O_3 は SiO_2 の成膜時に3nm成膜した時点で酸化が進行しており、その後の酸化の進行はそれ程ないことが分かった。 $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ MIS-HEMTの電気特性と併せ、薄い Al_2O_3 中の電子トラップは SiO_2 の成膜初期の段階で SiO_2 成膜の影響を受けている可能性が考えられる。

5. 結論

PECVD- $\text{SiO}_2/\text{ALD-}\text{Al}_2\text{O}_3$ 界面近傍における Al_2O_3 の化学状態への SiO_2 成膜の影響を放射光を用いたX線分光を用いて評価した。

結果として、

- 3nmの SiO_2 成膜により、 $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ 界面近傍の Al_2O_3 は酸化が大きく進行し、その後はあまり変化しないことが分かった。
- PECVD- $\text{SiO}_2/\text{ALD-}\text{Al}_2\text{O}_3$ 2層絶縁膜を用いたMIS-HEMTで ΔV_{th} が変化する要因として、 SiO_2 成膜初期の Al_2O_3 膜の化学状態変化も考慮する必要があることが分かった。

謝辞

本研究の放射光利用実験は、文部科学省「光ビームプラットフォーム形成事業」の支援を受けて、科学技術交流財団あいちシンクロトロン光センターのBL6N1で行った(実験番号: 2016G1010)。本研究は、独立行政法人 科学技術振興機構 愛知地域スーパークラスタープログラムの支援によって行われました。