

## アモルファス酸化物ガリウムへの水素添加効果

P6

Hydrogen doping on amorphous gallium oxide semiconductor

井手啓介 keisuke@mces.titech.ac.jp

東京工業大学科学技術創成研究院フロンティア材料研究所

アモルファス酸化ガリウム(a-GO)は4 eVを超える広いバンドギャップを持つアモルファス酸化物の一種である。我々は近年、今まで絶縁体として考えられてきた a-GO でも、欠陥を適切に制御することによって  $7 \text{ cm}^2/\text{Vs}$  の Hall 移動度をもつ良好な半導体となることを報告してきた[1]。しかし一般的なアモルファス酸化物半導体(AOS)と比較して、キャリア濃度が  $10^{14} \text{ cm}^{-3}$  程度と低く、薄膜トランジスタのチャネルへ用いても、しきい値電圧が 30 V 以上のデバイスしか作製できないという問題があった。

一般的に酸化物半導体へのキャリアドーピングには、 $\text{In}_2\text{O}_3:\text{Sn}$  や  $\text{SnO}_2:\text{F}$  に見られるように異価数元素を添加する置換ドーピングが用いられるが、AOS では、配位構造の自由度が大きく全体として中性を保つように構造が柔軟に変化してしまうため、置換ドーピングは有効な手段ではないと考えられている [2]。代表的な AOS の a-In-Ga-Zn-O(a-IGZO)では酸素欠損や水素がドナーとして振る舞うことが知られており、キャリア濃度制御のためにこれらを添加する方法が広く用いられている[3]。本研究においても a-GO のキャリア濃度制御を実現するために水素添加や真空アニールが有効ではないかと考えた。

本研究では、パルスレーザー堆積法(PLD)によってガラス基板上に成膜を行った半導性の a-GO 薄膜に対して真空アニールや水素プラズマ処理を行い、キャリア濃度の向上を試みた。また今回見いだされたキャリアドーピング法を用いて実際に薄膜トランジスタを試作しその効果を確認した。

Fig. 1 に非熱処理膜(赤)と熱処理膜(青)に対する水素プラズマ処理時間依存性を示す。非熱処理膜に対して水素プラズマ処理を行うと電子移動度の増加が見られるもののキャリア濃度の変化は殆ど見られないことが分かった。一方、熱処理を行った膜に対して水素プラズマ処理を行うとキャリア濃度が二桁近く向上することが分かった。膜表面の AFM 像を確認した所、平均二乗粗さは水素プラズマ処理の前後でそれぞれ 0.88 と 0.98 nm であったことから、プラズマ処理によるエッチングの影響はほとんど無く、水素を膜中に導入することでドーピング効果が得られたものと考えられる。また昇温脱離ガス試験の結果から非熱処理膜には電子トラップとなる弱結合酸素[3] が含まれていることが分かり、真空熱処理と水素ドーピング合わせて行うことで欠陥低減とキャリア注入を効率的に行えたものと考えられる。またキャリア濃度の温度依存性から、a-GO 中の酸素欠損が作るドナー準位が 0.29 eV と、a-IGZO と比較して 0.18 eV ほど深く、水

素添加によって 0.13 eV と浅くなることが分かった。

Fig. 2(c)に各処理を行った薄膜トランジスタの伝達特性を示す。非熱処理の場合はしきい値電圧 26.6 V であったのに対し、水素プラズマ処理を行うことで 13.5 V を得ることが出来た。また Fig.1 と同様に非熱処理に比べて移動度も向上し  $0.7 \text{ cm}^2/\text{Vs}$  を得ることが出来た。

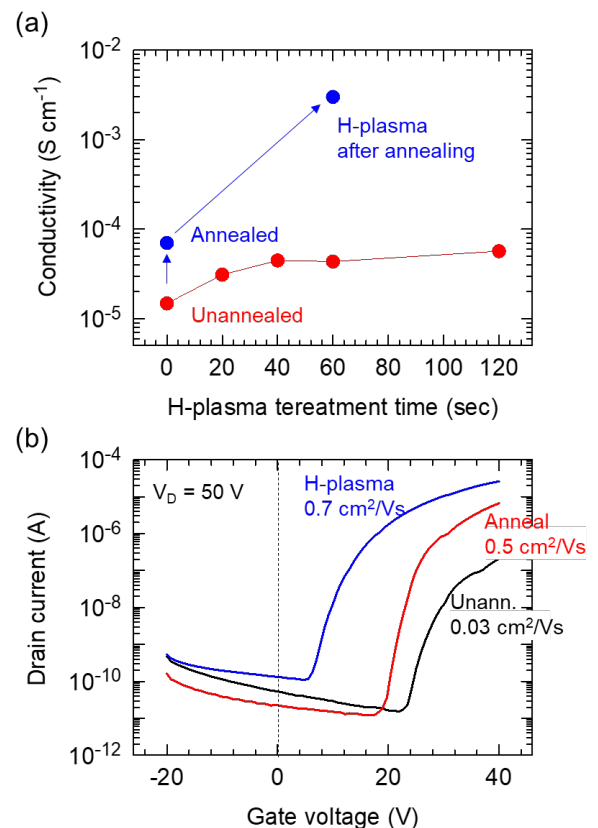


図 (a)非熱処理膜および熱処理膜における電気伝導度の水素プラズマ処理時間依存性。(b)各種処理を用いて作製した薄膜トランジスタの伝達特性。

## 【共著者(所属)】

片瀬貴義(東工大)、平松秀典(東工大)、細野秀雄(東工大)、神谷利夫(東工大)

## 【関連プロジェクト】(必要に応じて記載)

元素戦略プロジェクト<研究拠点形成型>電子材料材料拠点

## 【参考文献】(最大3本)

- [1] J. Kim et al., NPG Asia Materials 3, e359 (2017).
- [2] H. Hosono, Journal of Non-Crystalline Solids 352, 851 (2006).
- [3] K. Ide et al., Physica Status Solidi A, 5 1800372 (2019).