アモルファス半導体 ZnON 薄膜へのカチオン添加効果

Effect of cation doping on amorphous ZnON thin films

1. KAST、2.東大院理　°重松　圭 [1]、山﨑崇範 [2]、中尾祥一郎 [1]、廣瀬　靖 [1,2]、長谷川哲也 [1,2]
1. KAST, 2. Univ. of Tokyo　°Kei Shigematsu[1], Takanori Yamazaki[2], Shoichiro Nakao[1], Yasushi Hirose[1,2], Tetsuya Hasegawa[1,2]

【序】近年、ZnO と Zn_3N_2 の固溶体であるアモルファス *n* 型半導体 ZnO_xN_y（ZnON）が高い移動度を示すことが報告され、注目を集めている。我々は過去に、窒素プラズマ支援パルスレーザー堆積（PLD）法を用いて ZnO ターゲットを反応性蒸着することで、移動度が 200 $cm^2V^{-1}s^{-1}$ を超える ZnON 薄膜が得られることを報告した[1]。しかしながら、ZnON の特性はアモルファス中に発生する微結晶の存在に敏感なためにプロセスウインドウは狭く、大気中で不安定なことも課題である。我々は、これらの課題の解決法として、元素添加に注目した。アモルファス半導体では、微量の元素添加がプロセスウインドウや特性にしばしば大きな変化をもたらすことが知られている。ZnON においても、Al を添加した Zn ターゲットを用いて反応性スパッタ法で製膜すると、無添加 Zn ターゲットに比べて低い N_2 供給量で ZnON 薄膜が得られるとの報告がある[2]。本研究では、Ga を添加した ZnON（$Ga_xZn_{1-x}ON$）薄膜を作製し、プロセスウインドウや物性・化学的安定性が受ける影響について調べた。

【実験方法】薄膜は PLD 法で作製した。$(Ga_2O_3)_{x/2}(ZnO)_{1-x}$（$x = 0, 0.01, 0.05, 0.25$）焼結体をターゲットに用い、無アルカリガラス基板上に非加熱（< 50°C）で成膜した。薄膜の結晶化を避けるため、レーザーフルエンスは 0.4 J/cm^2 以下に抑えた。雰囲気ガスとして、電子サイクロトロン共鳴プラズマソース（ECR）で活性化した窒素を 1×10^{-5} Torr 導入した。ECR の電流値は 30 mA に固定した。合成した薄膜は X 線回折（XRD）と原子間力顕微鏡で構造を、4 端子法およびホール測定により輸送特性を、紫外可視分光により光学特性を調べた。

【結果と考察】$x = 0$ および 0.01 の条件では 0.4–0.7 nm/min の蒸着レートで薄膜が得られ、XRD では回折ピークは観測されなかった。一方、$x \geq 0.05$ では所定のフルエンスではアブレーションされなかった。図 1 に、$x = 0$ および 0.01 の $Ga_xZn_{1-x}ON$ 薄膜の Tauc プロットを示す。ZnON 薄膜は 1.7 eV に吸収端を示し、$Ga_{0.01}Zn_{0.99}ON$ 薄膜では吸収端が 2.0 eV までシフトした。先行研究では相対的な酸素量の増大とともにバンドギャップが広がる傾向が報告されている[3]。このことから、$Ga_{0.01}Zn_{0.99}ON$ では、In-Ga-Zn-O などのアモルファス酸化物半導体と同様に、Ga が酸素と強く結合するために薄膜中の酸素量が増加している可能性が示唆される。$Ga_{0.01}Zn_{0.99}ON$ のキャリア濃度（1.1×10^{18} cm^{-3}）は、製膜中に雰囲気ガスとして酸素を導入した場合と同様に、ZnON（6.9×10^{18} cm^{-3}）と比べて減少していることも上記の仮説と矛盾しない。講演では、$Ga_xZn_{1-x}ON$ の大気中での安定性や、Ga 以外のカチオンの添加効果についても報告する予定である。

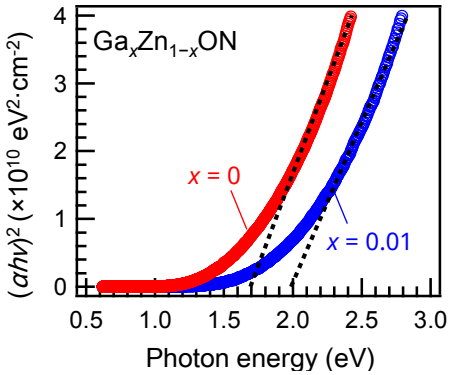

Fig. 1. Tauc plot of $Ga_xZn_{1-x}ON$ ($x = 0, 0.01$) films.

【謝辞】本研究は JST, CREST の支援のもと行われた。

【参考文献】[1] 山﨑他、第 75 回応物秋季講演会 18a-A12-7.　[2] Y. Ye *et al.*, J. Appl. Phys. **106**, 074512 (2009).
[3] J. Park *et al.*, Sci. Rep. **6**, 24787 (2016).

© 2016年 応用物理学会