

## 移動度 $200 \text{ cm}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$ を超える非晶質 $\text{ZnO}_x\text{N}_y$ 薄膜の合成

### Amorphous $\text{ZnO}_x\text{N}_y$ Thin Films with Mobilities Exceeding $200 \text{ cm}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$

東大院理,<sup>1</sup> KAST,<sup>2</sup> JST-CREST,<sup>3</sup> UTTAC<sup>4</sup> °山崎 崇範,<sup>1</sup> 廣瀬 靖,<sup>1,2,3</sup> 中尾 祥一郎,<sup>2,3</sup> 原山 勲,<sup>4</sup>  
関場 大一郎,<sup>4</sup> 長谷川 哲也<sup>1,2,3</sup>

Univ. of Tokyo,<sup>1</sup> KAST,<sup>2</sup> JST-CREST,<sup>3</sup> Tsukuba Univ.<sup>4</sup> °Takanori Yamazaki,<sup>1</sup> Yasushi Hirose,<sup>1,2,3</sup>  
Shoichiro Nakao,<sup>2,3</sup> Isao Harayama,<sup>4</sup> Daiichiro Sekiba,<sup>4</sup> and Tetsuya Hasegawa<sup>1,2,3</sup>

E-mail: t-yamazaki@chem.s.u-tokyo.ac.jp

【背景】  $\text{ZnO}$  と  $\text{In}_2\text{O}_3$  の固溶体である非晶質  $\text{InZnO}$  (a-IZO) は低プロセス温度・大面積化が可能な高移動度半導体として盛んに研究されている。近年、 $\text{ZnO}$  と  $\text{Zn}_3\text{N}_2$  の固溶体である非晶質  $n$  型半導体  $\text{ZnO}_x\text{N}_y$  において a-IZO の電界効果移動度[1]に匹敵する、 $100 \text{ cm}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$  をこえる Hall 移動度が報告され、注目を集めている[2]。今回、我々は  $\text{ZnO}_x\text{N}_y$  薄膜を様々な条件で合成し、電気輸送特性との相関を調べた。その結果、移動度  $200 \text{ cm}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$  をこえる薄膜の合成に成功したので報告する。

【実験】 合成にはパルスレーザー蒸着法を用いた。ターゲットには  $\text{ZnO}$  焼結体を用い、無アルカリガラス基板上に非加熱( $< 60^\circ\text{C}$ )条件下で成膜した。プロセスガスとして酸素および電子サイクロトロン共鳴 (ECR) プラズマソースにより活性化した窒素を導入した。窒素分圧を  $5 \times 10^{-5}$  Torr に固定し、ECR ソースの入力電流  $I_{\text{ECR}}$  および酸素分圧  $P_{\text{O}_2}$  を成膜パラメータとしてアニオン組成を制御した。成膜速度は  $0.4\text{-}0.7 \text{ nm/min}$  に制御した。合成した薄膜は X 線回折 (XRD) と原子間力顕微鏡 (AFM) により結晶構造を、エネルギー分散型 X 線分光法および弾性反跳粒子検出法により化学組成を、4 端子抵抗及び Hall 効果測定により電気輸送特性を調べた。

【実験結果】 酸素を導入せずに  $I_{\text{ECR}}$  を変化させたところ、 $I_{\text{ECR}}$  の増加とともに窒素量は増加し、 $y/(x+y) \sim 0.5$  まで導入することに成功した (Fig. 1a)。合成した薄膜は組成によらず非晶質の XRD パターンを示したが、窒素量が少ない膜では AFM 像に粒状の凹凸が認められ、微結晶の存在が示唆された (Fig. 1a, insets)。電気輸送特性については、窒素量の増加に伴うキャリア密度の低下と、移動度の著しい増加が見られた (Fig. 1b)。 $I_{\text{ECR}} = 30 \text{ mA}$  に固定して  $P_{\text{O}_2}$  を変化させた実験でも、窒素量および結晶構造、電気輸送特性について同様の傾向が確認された。

これらの結果は、薄膜中の窒素比率の増大が結晶構造および電気輸送特性と密接に関係していることを示している。具体的には (1) 窒素の導入によりアニオン空孔が減少し、キャリア密度が低下する。(2) 窒素導入により非晶質化 (粒界密度の減少) が進み、粒界散乱が減少することで移動度が増加する、と解釈できる。

非晶質化が進んだ膜の移動度は  $240 \text{ cm}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$  に達しており、報告されている多結晶  $\text{ZnO}$ 、 $\text{Zn}_3\text{N}_2$ 、および各種非晶質半導体と比較しても非常に高い値を示した。

[1] E. Fortunato *et al.*, *Phys. Stat. Sol. RLL*, **1**, R34 (2007)

[2] H. S. Kim *et al.*, *Sci. Rep.*, **3**, 1459 (2013)

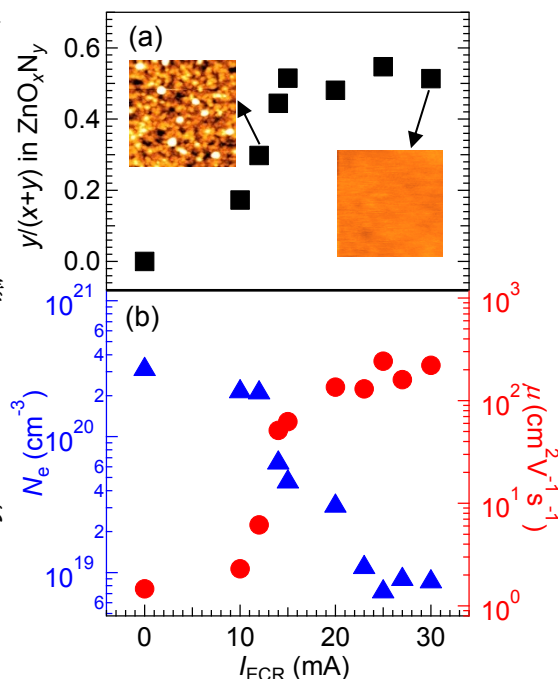


Fig. 1 (a) Anion composition and (b) carrier density  $N_e$  and mobility  $\mu$  of  $\text{ZnO}_x\text{N}_y$  films fabricated with various  $I_{\text{ECR}}$ . AFM images ( $0.5 \times 0.5 \mu\text{m}^2$ ) of typical films are also shown as insets of (a).