

RPE-MOCVD 成長による ZnCdMgO 四元混晶バンドギャップ制御

Bandgap engineering of ZnCdMgO quaternary alloy films via RPE-MOCVD

静大院工, ◯中村 篤志, 仁枝 嘉昭*, 鈴木 麻里**, 天明 二郎

Grad. School of Eng. Shizuoka Univ., ◯A. Nakamura, Y. Nieda, M. Suzuki, J. Temmyo,

*&**Present address; NAIST & Yamaha corp.

E-mail: ranakam@ipc.shizuoka.ac.jp

1. はじめに

ウルツ鉱構造 ZnO 系 3 元混晶 Zn(Cd,Mg)O はバンドギャップを 1.6eV から 3.7eV までその組成を変えることで制御が可能であり^[1,2]、近赤外領域を含めた可視-紫外光での LEDs, PDs 並びに PVs デバイス応用が期待されている。四元混晶を形成することで格子定数操作によるエピタキシャル成長のストレス緩和や残留キャリア濃度の低減が期待される。これまで基本となる四元混晶の三角組成面の形成とショットキー接合 PV を実現してきた^[3]。今回、さらにバンドギャップをレッドシフトさせるための Cd 供給比を増加させて 4 元混晶を成長したので報告する。

2. 実験

RPE-MOCVD 法を用いて a 面サファイア基板上に ZnCdO 薄膜を成長した。有機原料は DEZn の供給量を固定し DMCD と MeCp₂Mg の供給量を変化させ水素キャリアガスでモル比を制御した。同時に O₂ 150sccm, H₂ 5sccm を混合してラジカルを供給した。RF 強度は 40W で成長中の基板温度は 400°C、成長圧力は 0.10Torr とした。成長した薄膜について、光学バンドギャップを分光透過率から求めた吸収係数から算出し、室温での PL 測定で発光エネルギーを調べた。XRD 測定から結晶構造と XPS 測定で組成を算出した。

3. 結果と考察

Fig.1 は基準の ZnO と出発材料の三元混晶 ZnCdO、MgZnO を含むシリーズの四元混晶 ZnCdMgO の分光透過率スペクトルを示している。Fig.2 は分光透過率スペクトルと吸収係数 2 乗プロット、室温 PL スペクトルを示した。ここで供給モル比を $R_{Cd}(\%) = [DMCD] / ([DMCD] + [DEZn] + [EtCp_2Mg])$ と定義している。 $R_{Cd}=17.0\%$ の時は Cd と Mg 組成は 2.6%、および 9.4% と見積もられた。光学バンドギャップは 2.98eV で室温 PL は 2.35eV だった。キャリア濃度は $R_{Cd}=17.0\%$ で $3.6 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ であり、もとの ZnCdO より低く補償効果によるものと考えられる^[4]。さらに Cd 供給量を増やした $R_{Cd}=24.7\%$ では、 $\text{optEg}=2.21\text{eV}$ で $\text{PL}=2.11\text{eV}$ だった。キャリア濃度は Cd 組成量の増加に伴い $3.6 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ まで増加した。

XRD 回折パターンからは四元 ZnCdMgO は c 面ウルツ鉱構造を有することが示された。c 面 (0002) 回折角度から算出した c 軸長に対する optEg エネルギーをプロットしたものを Fig.3 に示す。イオン半径 $\text{Zn}^{2+}(0.06\text{nm})$ に対し $\text{Cd}^{2+}(0.078\text{nm})$ 、 $\text{Mg}^{2+}(0.057\text{nm})$ と異なるが c 軸長と Eg の関係は線形性を示し、基本的にベガード則に従うことが分かった。

4. 参考文献

- [1] K. Yamamoto, T. Tsuboi, T. Ohashi, T. Tawara, H. Gotoh, A. Nakamura, J. Temmyo., J. Crystal Growth 312 (2010) 1703. [4] M. Suzuki, S. K. Mohanta, A. Nakamura, J. Temmyo., 2012SSDM, Kyoto, Sept. 25-28, 2012, PS-8-3. [3] 仁枝嘉昭, 中村篤志, 天明二郎., 2014 春季応用物理学会 19a-E10-5, 3月19日, 青山学院大 [4] A. Hierro, G. Tabares, J. M. Ulloa, E. Munoz, A. Nakamura, T. Hayashi, J. Temmyo, Appl. Phys. Lett. 94 (2009) 23101.

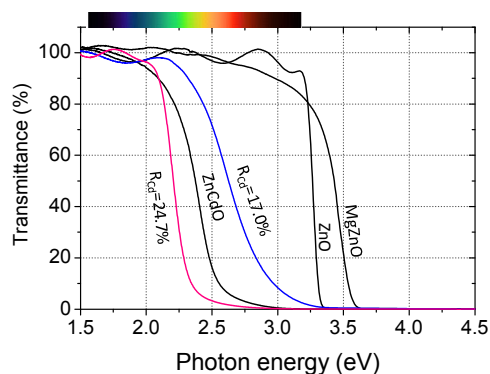


Fig.1 Optical transmittance of series of ZnCdMgO, including ZnO and starting MgZnO and ZnCdO films.

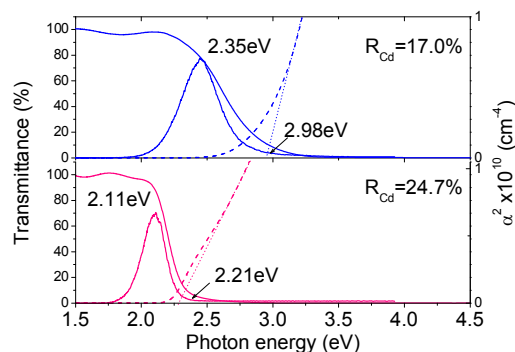


Fig. 2. Photoluminescence of a series of ZnCdMgO with different R_{Cd} ratios. The corresponding optical transmission properties and the calculated α^2 plot also shown.

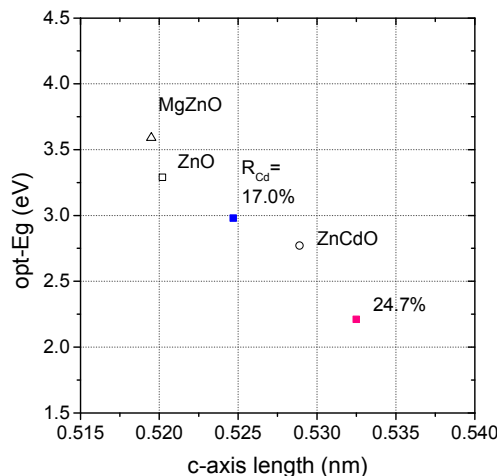


Fig.3 Optical bandgap versus c-axis length calculated from the XRD diffraction patterns.