異なる Mg 組成を有する単結晶 $Zn_{1-x}Mg_xO$ 膜成長における ZnON バッファー層の効果

Effects of ZnON buffer layers on growth of single crystalline $Zn_xMg_{1-x}O$ films of various x

九大シス情[1]，自然科学研究機構[2]，○(M1)矢高 功太郎[1]，高橋 大智[1]，山下 尚人[1]，
山下 大輔[1]，奥村 賢直[1]，鎌滝 晋礼[1]，古閑 一憲[1,2]，白谷 正治[1]，板垣 奈穂[1]
Kyushu Univ.[1], NINS[2] ○Kotaro Yataka[1], Daichi Takahashi[1], Naoto Yamashita[1], Daisuke Yamashita[1], Takamasa Okumura[1], Kunihiro Kamataki[1], Kazunori Koga[1,2], Masaharu Shiratani[1], Naho Itagaki[1]
E-mail: k.yataka@plasma.ed.kyushu-u.ac.jp

ZnO (E_g: 3.4 eV)と MgO (E_g: 7.8 eV) の混晶からなる $Zn_{1-x}Mg_xO$ はワイドギャップ半導体として注目されている．基板として一般的に用いられるサファイアとは 18%の大きな格子不整合率があり，単結晶膜の作製が困難であったが，最近我々は ZnON バッファー層を用いることでこの課題を解決した [1]. 上記手法では，格子不整合に起因した結晶歪をバッファー層内に高密度に導入した結晶粒界により緩和し，その後バッファー層内の結晶粒を起点に $Zn_{1-x}Mg_xO$ 膜を 2 次元成長させる [2]．$Zn_{1-x}Mg_xO$ を用いたデバイス実用化のためには，バンドギャップエンジニアリング技術の確立が不可欠である．本研究ではこの核心となる「広範な Mg 組成において安定して高い結晶品質をもたらす薄膜成長法」の実現を目的とし，ZnON バッファー層が，異なる条件，組成にて作製された $Zn_{1-x}Mg_xO$ 薄膜の結晶性及び表面モフォロジーに及ぼす影響について定量的評価を行った．

全ての膜を高周波マグネトロンスパッタリング法により作製した．まず c 面サファイア基板上に膜厚 10 nm の ZnON バッファー層を Ar/N_2 雰囲気中，基板温度 780°C にて作製した．次に上記バッファー層上に膜厚 69–295nm の $Zn_{1-x}Mg_xO$ 薄膜を Ar/O_2 雰囲気中，基板温度(T_{ZMO}) 600–800°C にて作製した．

Figure 1 に，異なる Mg 組成に対して $Zn_{1-x}Mg_xO$ 膜の性能指数 (figure of merit: FOM) をプロットしたものを，また Fig. 2 に異なる条件で作製した $Zn_{1-x}Mg_xO$ 膜の (002)面 X 線ロッキングカーブ (XRC) を示す．ここで，FOM は XRC 半値幅と二乗平均平方根ラフネスの積の逆数として定義した．サファイア直上に作製した $Zn_{1-x}Mg_xO$ 膜の FOM は x が 0.1 を超えると急激に低下するのに対し，バッファー層上に作製した場合は 高 Mg 組成においても高い FOM を保つことが分かった．特に 800°C で作製した $Zn_{1-x}Mg_xO$ 膜は $x > 0.3$ においても高い面内配向性と表面平坦性を有し，13–37 $nm^{-1}deg^{-1}$ と安定して高い FOM を示した．以上の結果は，ZnON バッファー層を導入し，且つ $Zn_{1-x}Mg_xO$ 膜を高温成膜することが，広範な Mg 組成において高品質な薄膜成長を実現する有効な手法であることを示している．

本研究の一部は JSPS 科研費 JP21H01372, JP21K18731, JP22H05000, 村田学術振興財団の助成を受けた．

[1] D. Takahashi, et al., *MRS. Adv.*, **7**, 415–419, 2022
[2] N. Itagaki, et al., *Sci. Rep.*, **10**, 4669, 2020.

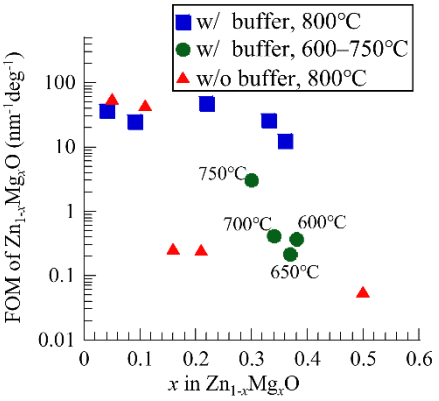

Fig. 1. FOM of $Zn_{1-x}Mg_xO$ films fabricated under various conditions.

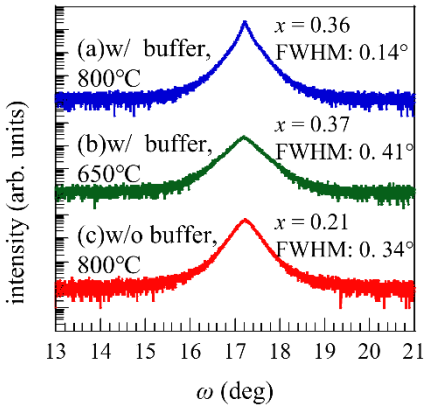

Fig. 2. XRCs of $Zn_{1-x}Mg_xO$ films. (a) x = 0.36, T_{ZMO} = 800°C, w/ buffer, (b) x = 0.37, T_{ZMO} = 650°C, w/ buffer, (c) x = 0.21 T_{ZMO} = 800°C, w/o buffer.

© 2022年 応用物理学会