

CaF₂ ドープ In₂O₃ 透明導電膜における 表面ラフネスおよび導電率のドーパント濃度依存性

Dopant concentration dependence of surface roughness and electrical conductivity on
CaF₂-doped In₂O₃ transparent conductive film

工学院大 ○(M2)大榮 海斗, 森 峻, 渡辺 幸太郎, 永井 裕己, 山口 智広,
尾沼 猛儀, 本田 徹, 相川 慎也

Kogakuin Univ., °Kaito Oe, Shun Mori, Kotaro Watanabe, Hiroki Nagai, Tomohiro Yamaguchi,

Takeyoshi Onuma, Tohru Honda, Shinya Aikawa

E-mail: aikawa@cc.kogakuin.ac.jp

電子デバイスの高機能化・高効率化・低消費電力化に向け低抵抗かつ幅広い波長領域で透過率の高い透明導電膜が求められている。ITO は電気抵抗が低い反面、近赤外領域の透過率が犠牲になっている。我々は、In₂O₃ へのアニオンドーパントとして CaF₂ に着目し、CaF₂ を添加した In₂O₃ 薄膜 (In₂O₃:CaF₂) について検討を進めてきた。スパッタにより形成した In₂O₃:CaF₂ において、 $4 \times 10^{-4} \Omega \text{cm}$ および可視光領域の平均透過率 81.4%を得た。この結果は、市販 ITO に匹敵するものであり、CaF₂ ドープにより In₂O₃ の導電性および透明性向上に寄与していることが分かった[1]。しかしながら、ドーパントの膜内での結合状態や、それが構造や物性に及ぼす関係については明らかとなっていない。そこで本研究では、XPS, XRD, AFM を用いてドーパント濃度のこれらの相関関係について明らかにすることを目的に詳細に調査をしたので報告する。

Fig. 1 に In₂O₃:CaF₂ の F 含有量に対する抵抗率を示す。F/In が 0.15 at.% 付近で最小値を取る事がわかった。XPS 測定の結果、この濃度領域では O サイトへの F 置換とともに、CaO 結合が観測された。これは、Ca が In から酸素を奪い、酸素空孔の形成に寄与していると示唆される。また、F 含有量が高くなるに従い、CaF₂ の凝集が顕著になり抵抗率が上がっていくと考えられる。Ca-F の結合解離エネルギーは 556.5 kJ/mol と、Ca-O のそれ (383.3 kJ/mol) よりも高いためである。

Fig. 2 に F 含有量の異なる In₂O₃:CaF₂ の AFM 像を示す。Fig. 2(a)および 2(b)の F/In, RMS ラフネスはそれぞれ、0.07 および 3.46 at.%, 0.47 および 1.22 nm であった。また、この濃度領域における典型的な可視光領域の平均透過率は、82.6 および 89.5% (石英基板) である。XRD の結果から、F 含有量の増加にともなって In₂O₃ 由来のピークが低下し、CaF₂ 由来のピークが現れること、および CaF₂ は透明性に優れることから、Fig 2(b)で観察される凝集体は CaF₂ であると推測される。CaF₂ は絶縁性が高いため、このような CaF₂ 粒が顕著となることで、薄膜抵抗率が上昇する結果と矛盾しない。他の含有量についても XPS および XRD の結果と合わせて、系統的に議論する。

[1] 大榮海斗 他, 第 68 回応用物理学会春季学術講演会, 2021 年 3 月 19 日, 19a-Z15-2.

[2] Sheng Guo, et al., Appl. Catal., B, 262, p.118250 (2020).

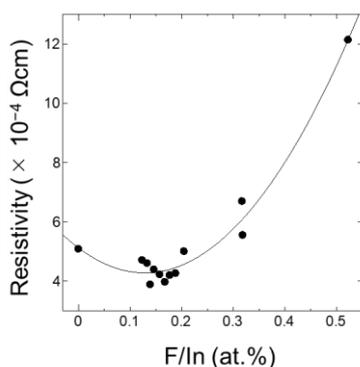


Fig.1 Relationship between resistivity and F/In atomic ratio in the fabricated films.

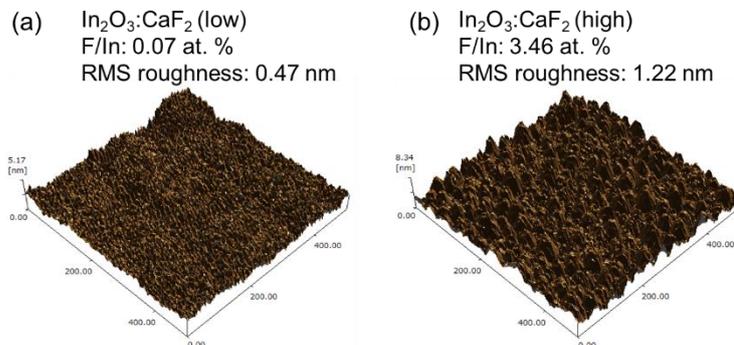


Fig.2 AFM images of the fabricated films: (a) low concentration (F/In: 0.07 at.%), and (b) high concentration (F/In: 3.46 at.%).