

酸素負イオン照射による Sn 添加 In_2O_3 薄膜における 縮退／非縮退評価ならびにバンドギャップ自在制御

New evaluation of degenerate/non-degenerate states and novel bandgap engineering of Sn-doped In_2O_3 films by postirradiation of O^- ions

高知工科大総研¹, 住友重機械² ○古林寛¹, 前原誠², 酒見俊之², 北見尚久^{1,2}, 山本哲也¹

Research Inst., Kochi Univ. Tech.¹, Sumitomo Heavy Industries, Ltd.²,

○FURUBAYASHI Y.¹, MAEHARA M.², SAKEMI T.², KITAMI H.^{1,2}, and YAMAMOTO T.¹

E-mail: furubayashi.yutaka@kochi-tech.ac.jp

1. 緒言: 最近我々は、独自の酸素負イオン(O^-)照射により、錫添加 In_2O_3 (ITO) の電気光学特性を大幅に制御することに成功した。本講演では上記結果に基き、以下新型手法を提案する[1]。

2. 縮退／非縮退状態評価法: 従来、縮退状態と非縮退状態との境界は Mott 転移によって評価することが通例であった。我々は、Ioffe-Refel 理論[2]に基づいた評価法を考案した。フェルミガスモデルに不確定性原理を適用することにより、キャリア平均自由行程とフェルミ波数の積($\lambda_{\text{MFP}}k_{\text{F}}$)が1以上であれば、その系は縮退状態であると判断出来る[3]。図1に、 O^- イオン照射した ITO 膜における $\lambda_{\text{MFP}}k_{\text{F}}$ とキャリア濃度 (n_e) との関係を示す。 O^- イオン照射により、 $n_e = 1.2 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 前後で ITO 膜は縮退状態から非縮退状態へと転移したと判断した。

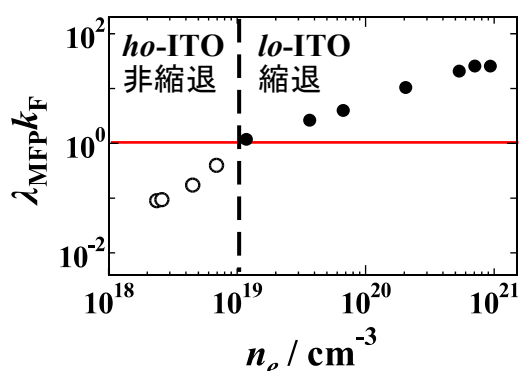


図1: $\lambda_{\text{MFP}}k_{\text{F}}$ のキャリア濃度 n_e 依存性。黒丸、白丸は各々、弱酸化 lo-ITO、強酸化 ho-ITO の実測値。

3. 価電子帯変形による新奇 E_g 制御法: 従来、 In_2O_3 における光学バンドギャップ (E_g) の制御幅は、Burstein-Moss (B-M) シフトを除き、高々 0.1 eV であった [4]。本研究では O^- 照射により、ITO 膜の E_g を大幅に変化させることに成功した。図2に、 E_g 実測値 n_e 依存性を lo-ITO (黒丸) と ho-

ITO (白丸) で示す(図2説明参照)。lo-ITO の E_g の n_e 依存性は、概ね B-M と多体効果によるギャップ収縮との合わせ込みに従い(図2実線)、従来描像による説明が可能であった。 In_2O_3 には bixbyite 構造特有の構造欠陥が存在する。本技術による意図的に拡散する O 原子は前述構造欠陥サイトに捕獲される。上記現象は一部 In の配位数増大 (6 から 7) に伴う局所的結晶場対称性崩れを起こし、その効果として、In 4d と O 2p 混成軌道からなる価電子帯上部は高エネルギー側に持ち上がる。その結果、非縮退状態 ho-ITO の E_g 減少 (3.19 eV $\rightarrow$ 3.02 eV) が誘発されたと考えられる。

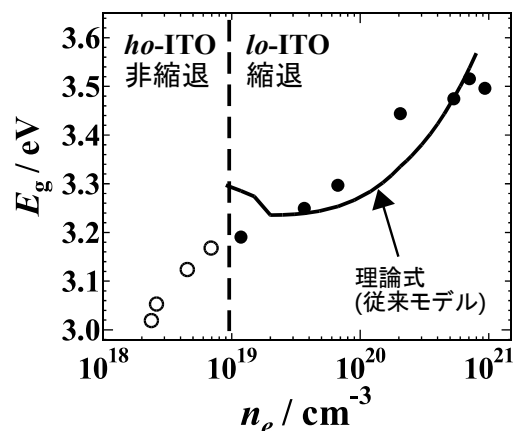


図2: 光学バンドギャップ E_g のキャリア濃度 n_e 依存性。黒丸、白丸は各々、弱酸化 lo-ITO、強酸化 ho-ITO の実測値。実線は、B-M 効果や E_g 収縮効果等を考慮した従来モデルによるフィッティング結果。

参考文献: [1] Y. Furubayashi et al., J. Phys. D: Appl. Phys. <https://doi.org/10.1088/1361-6463/abd3cd> (2021).

[2] A.F. Ioffe and A.R. Regel, Prog. Semicond. **4**, 237(1960).

[3] V. F. Gantmakher et al., Pramana-J. Phys. **20**, 509 (1987).

[4] D. O. Scanton et al., Appl. Phys. Lett. **103**, 262108 (2013).