

ナノプローブ CL 法による ZnO ナノロッドの曲げ変形とバンドギャップの歪シフトのその場評価



In-situ characterization of ZnO nano-rod bending deformation and strain-induced bandgap shift using nano-probe cathodoluminescence technique

物材機構¹, 筑波大², ハンガリー科学アカデミー³, °渡辺 健太郎^{1,2}, フォルク ヤノシュ³,

呉 承俊¹, 長田 貴弘¹, 若山 裕¹, 関口 隆史¹

NIMS¹, Univ. of Tsukuba², MFA³, °Kentaro Watanabe^{1,2}, János Volk³, Seungjun Oh¹, Takahiro

Nagata¹, Yutaka Wakayama¹, Takashi Sekiguchi^{1,2},

E-mail: WATANABE.Kentaro@nims.go.jp

背景: 半導体ナノロッドは集積化が可能な他、弾性変形が容易な為、バンド端特性を歪変調した電子・発光/受光・電子デバイスや、圧電デバイス(応力センサ、アクチュエータ、発電体)に応用できる。ZnO はウルツ鉱構造の直接バンドギャップ半導体($E_g=3.37\text{eV}$)であり、極性軸(c 軸)方向に高い圧電性($d_{33}\sim 10\text{pm/V}$)を示し得る。常圧・低温下の水溶液中で前駆体から ZnO を化学合成する溶液成長法は、単結晶 ZnO ナノロッドを異種基板上にエピ成長可能であり、NEMS 用素子をウェットプロセス中で作製可能である。溶液成長 ZnO ナノロッドを前述のデバイスに応用するには、①弾性限界の拡張・バンド端特性の歪変調評価・圧電電荷計測が必要な他、②ナノロッドの形状・欠陥分布の不均一を個別にその場評価する必要がある[1]。この要請から、SEM-Cathodoluminescence (CL)装置に圧電駆動機構とプローブ圧子を導入した、ナノプローブ CL 装置を開発した。本研究では、ナノプローブ CL 法により、ナノロッドの曲げによる塑性変形とバンドギャップの歪変調をロッド単位でその場評価することを目標とした。

実験・結果・考察: ZnO(0001)基板上にフォトリソ膜を形成後、電子ビーム描画により円穴(成長窓)を開け、 85°C の前駆体溶液中に基板を浸して、ナノロッドをホモエピ成長させた。ナノロッドは $+c$ 方向に成長し、頂面($+c$ 面)と6つの側面(m 面)から成り、直径 150nm ・長さ $1.4\mu\text{m}$ 程度である。圧子には電解研磨タングステンプローブを用いた。ナノロッドにプローブ圧子で曲げ応力を印加/除去したときの曲げ変形のその場 SEM 像観察[図(a)]から、塑性変形量と c 軸方向の公称歪(ϵ_{cN})・塑性歪(ϵ_{cP})・弾性歪($\epsilon_{cE} = \epsilon_{cN} - \epsilon_{cP}$)を評価した。同時にバンド端キャリア再結合発光による CL ピークエネルギーから E_g を評価し、 ϵ_{cN} との相関を評価した[図(b)]。 $|\epsilon_{cN}| < 2\%$ の場合、ナノロッドの変形はほぼ弾性的であり、 E_g は ϵ_{cN} に線形にレッドシフトした。 $|\epsilon_{cN}| > 2\%$ の場合、ナノロッドは塑性変形し、 E_g のシフトも見られなかった。更に変形させると破断した。これは塑性変形の起点となる弾性歪量を示唆する。以上より、

本手法は半導体ナノロッドの塑性変形やバンドギャップの歪変調の評価に有用である。本研究は科研費若手(B)[23760022]の助成を受けた。[1] 渡辺, 他, 2013 年秋季応物学会, 16p-P8-20.

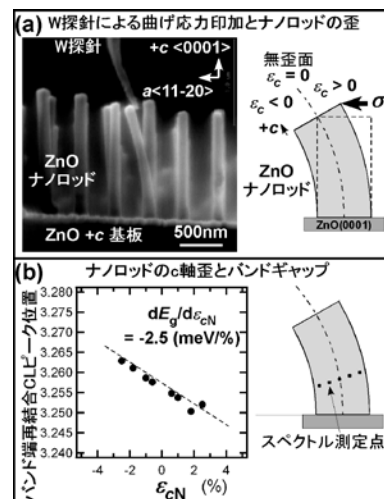


図 ZnO ナノロッドのナノプローブ CL 評価 (a) 曲げ変形と ϵ_{cN} (b) ϵ_{cN} と E_g