

放射光ナノビーム X 線回折を用いた半導体材料・デバイスの構造解析

Structural analysis of semiconductor materials and devices using synchrotron radiation nanobeam X-ray diffraction

阪大院基礎工¹, JASRI² ◯酒井 朗¹, (D)志田 和己¹, (M2)植田 瑛¹, 藤平 哲也¹,
今井 康彦², 隅谷 和嗣², 木村 滋²

Osaka Univ.¹, JASRI² ◯Akira Sakai¹, Kazuki Shida¹, Akira Ueda¹, Tetsuya Tohei¹,
Yasuhiko Imai², Kazushi Sumitani², Shigeru Kimura²

E-mail: sakai@ee.es.osaka-u.ac.jp

X 線回折は物質の格子構造に対する精密な計測を可能にする構造解析手段である。薄膜やバルクを問わず多くの半導体材料・デバイスを非破壊に計測できることから、その利用頻度は極めて高く、今や確立した評価法である。通常の実験室系 X 線回折装置が 100 μm 程度のプローブサイズを有するのに対して、近年ではシンクロトロン放射光施設における高輝度 X 線の光学系からナノメートル級サイズのビームが作り出され、それによって空間分解能が飛躍的に上昇している。そのため、材料・デバイスの結晶性評価にあたり、比較的広い領域のアンサンブル平均 (ensemble average) 構造から局所領域の特定構造へと評価対象を移すことが容易になった。半導体結晶を用いた電子・光デバイスの素子サイズが縮小化の一途をたどり、かつ局所領域の特異的物性が素子全体の性能に支配的な影響を及ぼすことが予測される現状において、こうした微小 X 線プローブの利用価値は今後益々向上していくと考えられる。我々が近年用いているナノビーム X 線回折 (nanobeam X-ray diffraction: nanoXRD) の測定系は、高輝度光科学研究センターの大型放射光施設 SPring-8 の硬 X 線アンジュレータビームライン (BL13XU) に設置されている。このビームラインでは、Si(111)二結晶モノクロメータが用いられ、光エネルギー 8 keV (X 線波長 0.155 nm) およびエネルギー分解能 10^{-4} の条件のもと、ゾンプレートおよび各種スリットにより、100 nm オーダーにまで縮小された X 線ビームを入射光として取り扱うことができる。

本講演においては、まず、IV 族半導体および窒化物半導体材料を対象に、位置依存 nanoXRD 測定を駆使して、高空間分解能で、かつ定量的な結晶構造解析評価を行った結果について述べる。「3 次元」を解析評価の軸に、微小 X 線プローブのサイズで決まる局所領域に対するローカルな 3 次元逆格子マッピング¹⁾と、入射 X 線の侵入深さ方向への分解を含めたセミローカルな構造に対するトモグラフィックマッピング解析²⁾の実例を示し、結晶中欠陥が周囲に与える結晶学的効果の定量解析を実証する。また、シンクロトロン放射光が有する特徴の一つであるパルス時間構造を利用して、最近我々が試みたオペランド計測についても述べる。ここでは、放射光パルスと同期させるパルス電圧印加技術と放射光パルスに対して印加電圧の位相を変化させるポンプ - プローブ計測法を駆使し、窒化物半導体系 HEMT デバイスのゲート電圧印加に伴って生ずる格子構造変化を時分割で捉えた初期的な結果を紹介したい。

本研究の一部は JSPS 科研費 JP16H06423 の助成を受けた。

1) S. Kamada *et al.*, Applied Physics Express 9, 111001 (2016).

2) K. Shida *et al.*, ACS Appl. Mater. Interfaces 9, 13726 (2017); K. Shida *et al.*, J. Appl. Physics 123, 161563 (2018).