

窒化物半導体結晶特異構造の構造解析評価 —マルチスケール評価へのアプローチ—

Multi-Scale Characterization of Structural Properties of Singularity in Nitride Semiconductors

阪大院基礎工¹, 三重大院工², JASRI/SPRing-8³

○酒井 朗¹, 竹内正太郎¹, 中村芳明¹, 三宅秀人², 平松和政², 今井康彦³, 木村 滋³

Osaka Univ.¹, Mie Univ.², JASRI/SPRing-8³

○A. Sakai¹, S. Takeuchi¹, Y. Nakamura¹, H. Miyake², K. Hiramatsu², Y. Imai³, S. Kimura³

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

半導体デバイスの歴史は半導体結晶の歴史であり、それは同時に欠陥制御の歴史でもある。特に窒化物半導体膜に対しては、バッファ層成長による結晶品質の飛躍的向上が歴史的転換期となり、結晶・デバイスの開発が進展した。また、欠陥抑制の更なる有効的手段として、加工された種々の基板を用いる選択エピタキシャル横方向成長 (ELO) 技術が台頭している。これには、化合物半導体の特徴的な、成長サイトの高い選択性とファセット形成を伴う成長様式が、不純物や欠陥等の分布形成に関与している。成長中に現れるファセットは窒化物半導体結晶の特異構造の一つであり、窒化物の六方晶構造と相俟って、結晶内部の転位の伝播挙動に多大な影響を及ぼす。ファセットの出現とともに生じる“転位の曲がり”は直接的に貫通転位の低減を導くだけでなく [1], 近年、膜結晶内に意図的に残留させたファセットにより形成されるナノスケールのボイドの効果が注目されている [2]。このボイドによるナノ空間も窒化物半導体特有の特異構造であり、エピタキシャル膜における欠陥成因の大半が基板との格子不整合性や熱膨張係数差に起因した歪であることを考慮すれば、歪緩和や欠陥制御に有効に働くことが期待される。

こうした結晶の特異構造の制御が発展途上にある中で、これらの構造的物性の解明は不可欠である。これまでも X 線回折や、透過電子顕微鏡法 (TEM) に代表される電子線ナノプローブ顕微鏡法がルーティンに使用されてきた。X 線回折の、特にロッキングカーブの半値幅は結晶品質を端的に評価する指標であり、TEM 観察は、転位や量子井戸構造等の結晶・デバイス内の局所構造を明らかにする。しかし、ここで注意すべきは、これらの構造物性評価ツールにおける観測のスケールである。素朴な疑問の一つに、「TEM の観測スケールで確認された転位の分布が、X 線回折の観測スケールでの歪や基板の湾曲に如何に影響を及ぼしているか」がある。これはまさに観測スケールのギャップが弊害となった未解明な課題であり、原子スケールとバルクスケールの狭間にある「死の谷」を埋める、ナノ～ミリにまたがるマルチスケール構造解析手段が必要とされる所以である。この観点から我々は、X 線マイクロ回折を局所と全域を橋渡しする評価解析ツールとして位置づけ、特に自立基板開発への応用に向けて作製された窒化物半導体エピタキシャル厚膜の微視的結晶形態の観察に注力してきた [3]。本講演においては、第 3 世代放射光施設 SPRing-8 において我々が行ってきた X 線マイクロ回折実験を紹介する。サブミクロンスケールの X 線微小プローブを用い、種々の加工基板上の ELO において発現する特異構造周辺の局所歪分布や局所的格子面傾斜等の検出に関するトピックを取り上げるとともに、TEM による欠陥観察の有機的併用の有効性について述べる。

[1] たとえば, A. Sakai *et al.*, Appl. Phys. Lett. **71** (1997) 2259.

[2] Y. Katagiri *et al.*, J. Cryst. Growth **311** (2009) 2831.

[3] D. T. Khan *et al.*, J. Cryst. Growth **381** (2013) 37.