

窒化物半導体結晶成長の放射光その場X線回折

In situ synchrotron X-ray diffraction
in crystal growth of nitride semiconductors

佐々木 拓生、高橋 正光

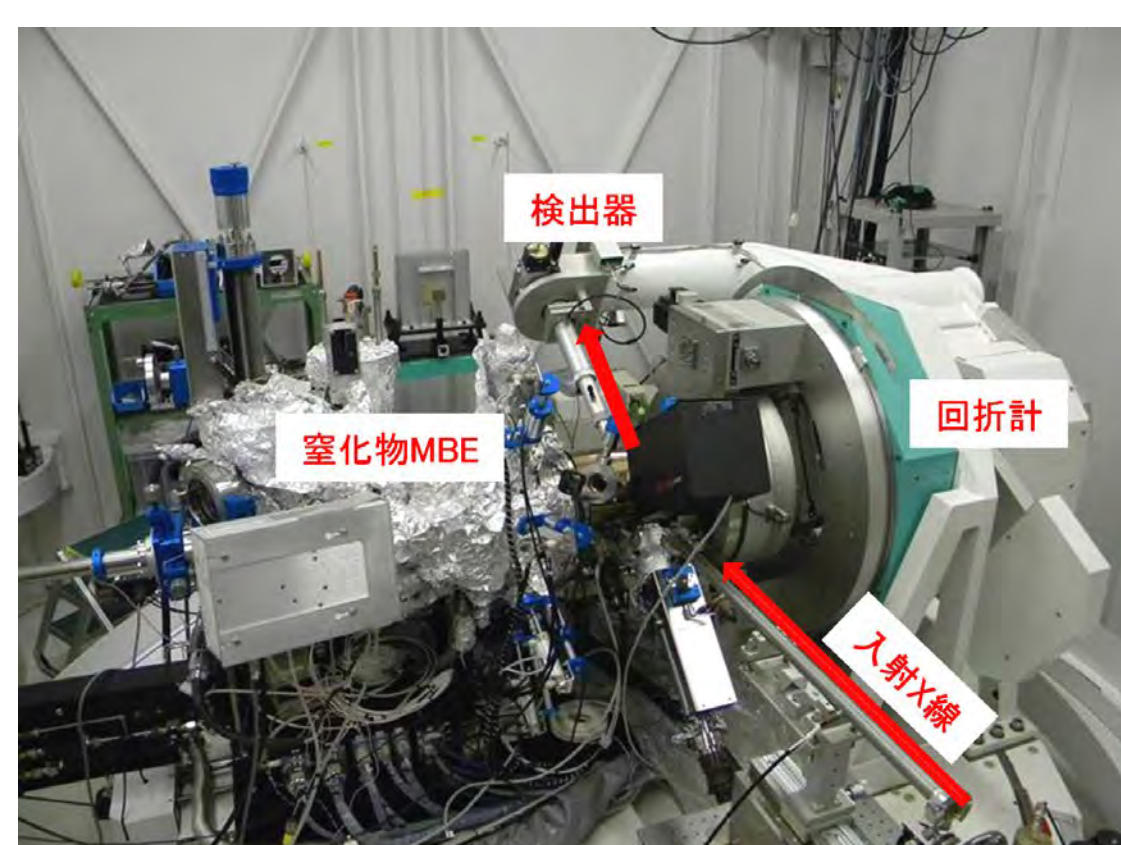


研究概要

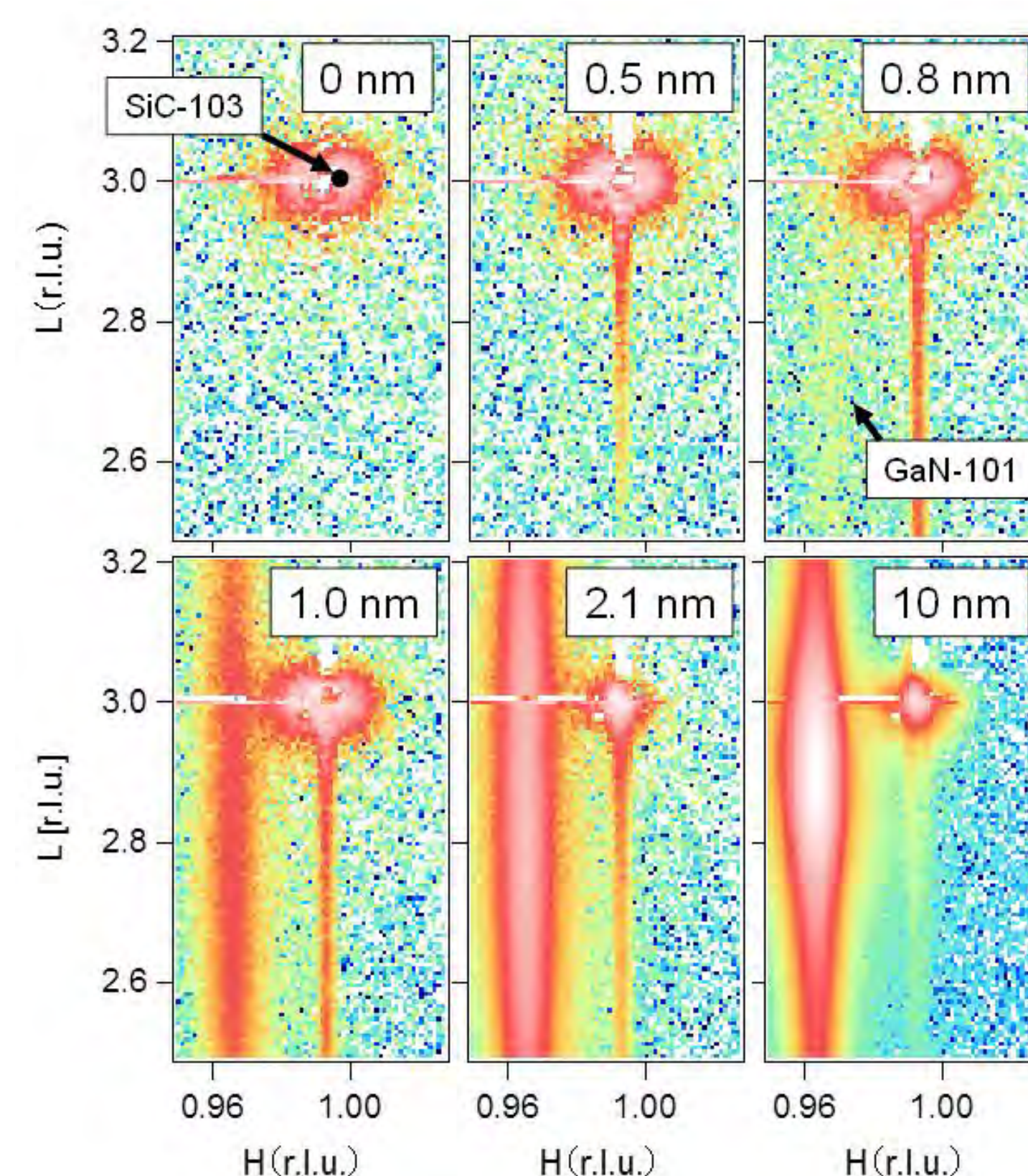
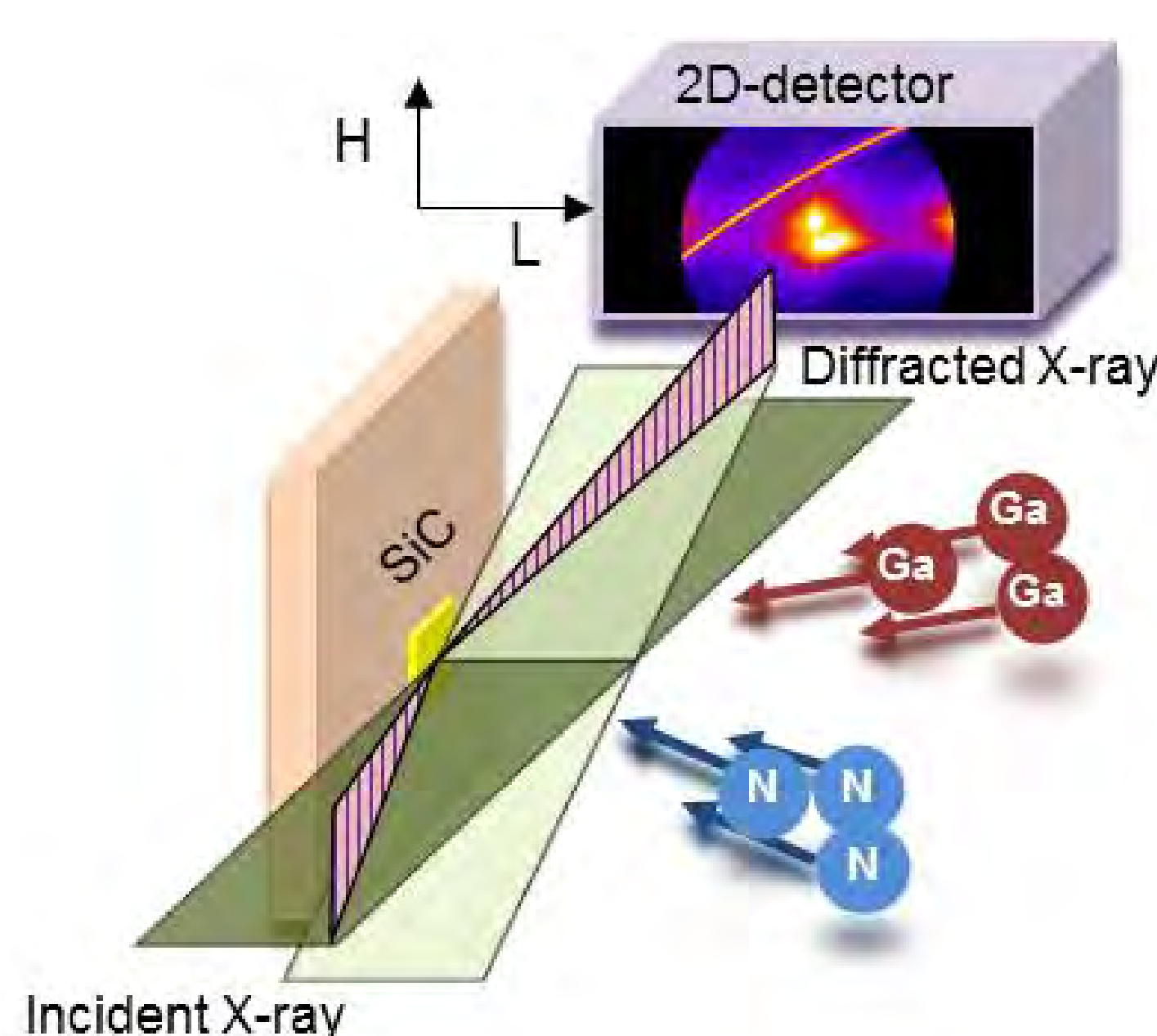
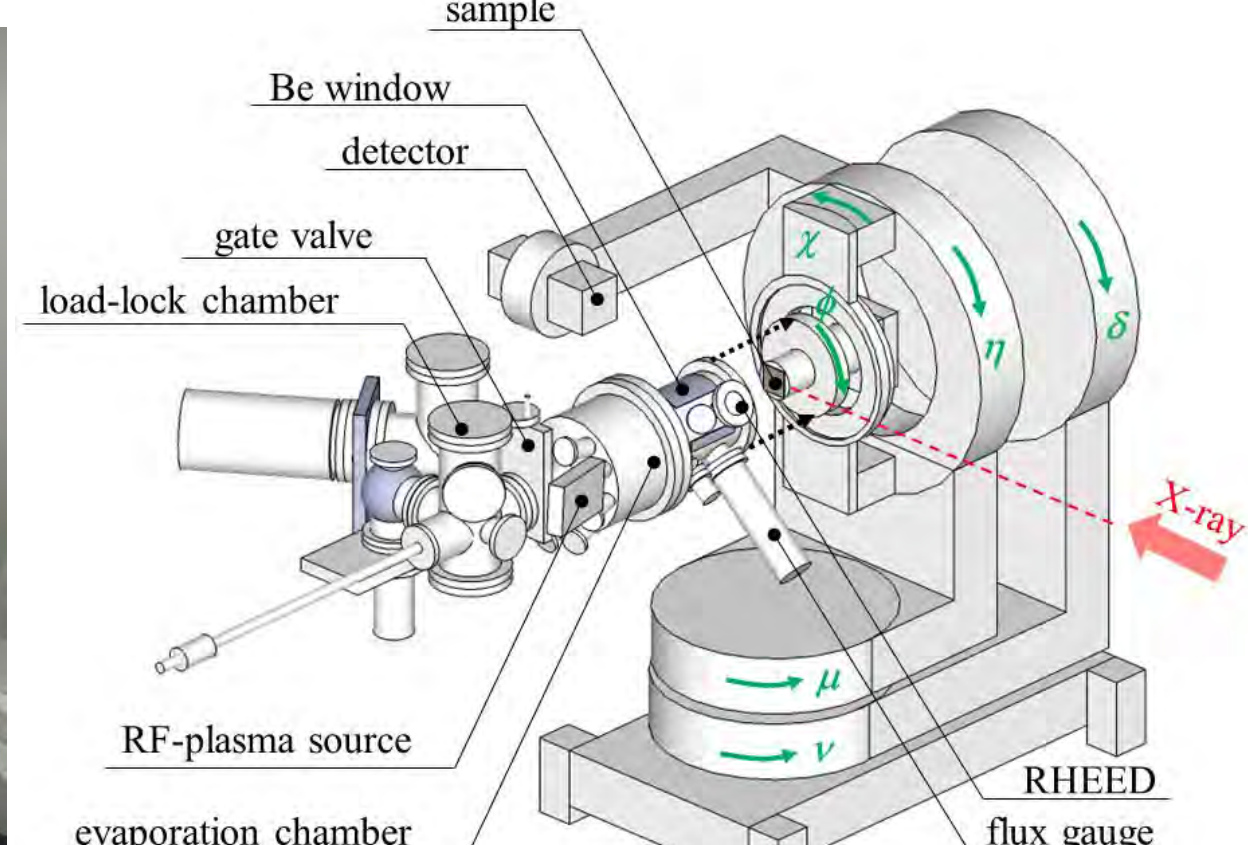
窒化ガリウム（GaN）に代表される窒化物半導体はLEDや高周波パワーデバイスとして実用化されており、その応用範囲の拡大がなお一層期待されています。このGaNを光及び電子デバイスとして用いると、従来のシリコン（Si）やガリウムヒ素（GaAs）では成し得なかった消費電力の大幅な削減が可能となることから、省エネルギー社会の実現に向けてさらなる普及が求められています。窒化物半導体は1994年に高輝度青色LEDが発表されて以降、比較的短時間で普及に至ったという経緯から、今なお、結晶表面や格子変形、欠陥構造の詳細など未知な部分が多いとされています。このような**結晶成長の基礎を十分に理解することは、デバイスの性能を飛躍的に向上させるために必要不可欠**です。

本研究は、大型放射光施設SPring-8のBL11XUにおいて、分子線エピタキシー（MBE）装置とX線回折計（XRD）とが一体化したMBE-XRDシステムを利用し、GaN薄膜の格子変形の様子をリアルタイム観察しました。その結果、数ナノメートル厚のGaN薄膜は、**従来の常識とされている弾性変形とは明らかに異なる特異的な変形を示すことを見いだしました**。この現象を理解するため、GaN結晶中への点欠陥（Gaアンチサイト欠陥）の取り込みによる単位格子の膨張を仮定することで、実験結果を良く再現できました。このことから、GaN薄膜は成長条件によっては、点欠陥が予想以上に多く結晶中に取り込まれてしまうことが明らかになりました。

研究成果



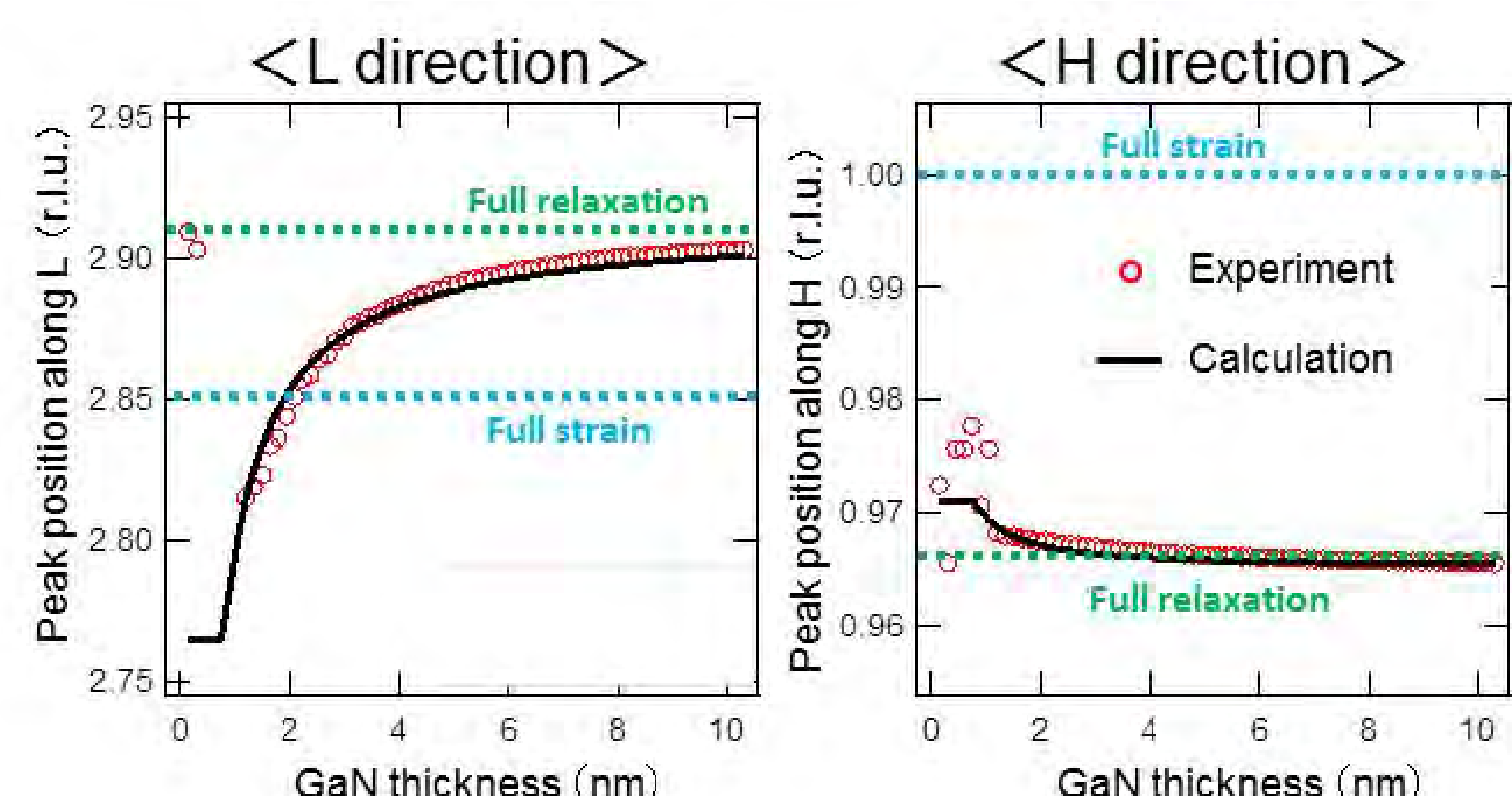
使用可能原料：Ga・In・Al・N（RF-plasma）
補助分析：RHEED・SDD



実験装置：MBE/XRDシステム
@SPring-8(BL11XU)

測定配置図：その場放射光X線回折

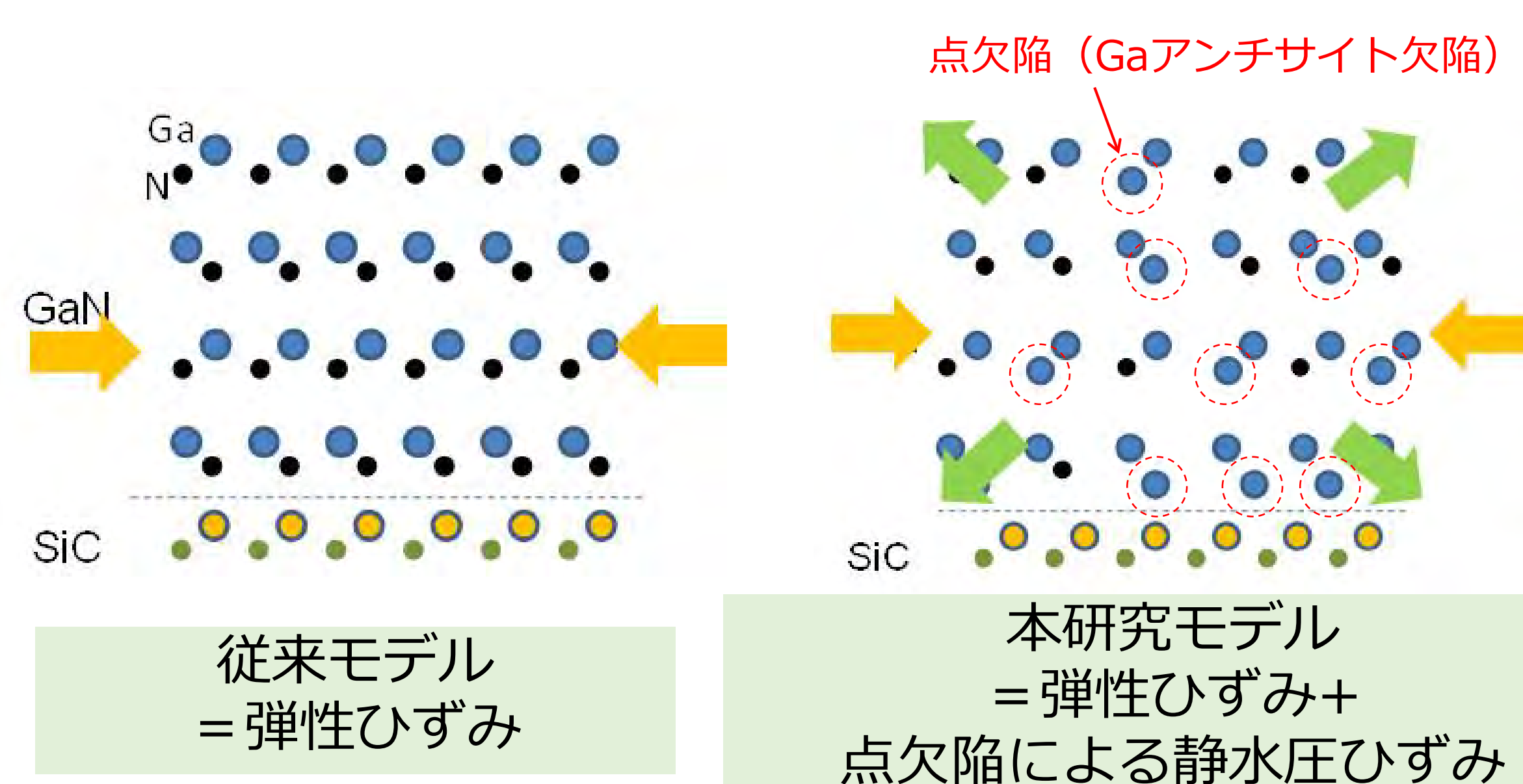
実験結果：X線回折の一例



実験結果：GaNの格子間隔を反映する
回折ピーク位置のGaN膜厚依存性
(L方向：面内垂直方向、H方向：面内方向)

実験結果ではH方向はほとんど変化しないのに対して、L方向では著しく格子間隔が小さくなり、従来の弾性変形とは明らかに異なることを見いだしました。

この現象を理解するため、GaN結晶中への点欠陥（Gaアンチサイト欠陥）の取り込みによる単位格子の膨張を仮定することで、実験結果を良く再現できました（左図の計算結果）。



新モデルの提唱：GaN薄膜の特異格子変形

まとめ

窒化物半導体の格子変形の様子をリアルタイム観察した結果、従来の常識（弾性ひずみ）を覆す新たな格子変形モデル（弾性ひずみ+点欠陥による静水圧ひずみ）を提唱しました。この結果、GaN薄膜成長の初期は、条件によって点欠陥が予想以上に多く取り込まれてしまうことが明らかになりました。

今後の課題

将来的には、この知見をもとに成長条件を最適化することで、点欠陥の混入を抑制した高品質GaN結晶を作製することが可能になると期待されます。

また、GaN結晶だけでなく他の窒化物半導体の格子変形の解明も今後の重要な課題です。

本研究に関して、さらに詳細を知りたい方は↓をチェック！
T. Sasaki et al., Appl. Phys. Lett. 108, 012102 (2016).