

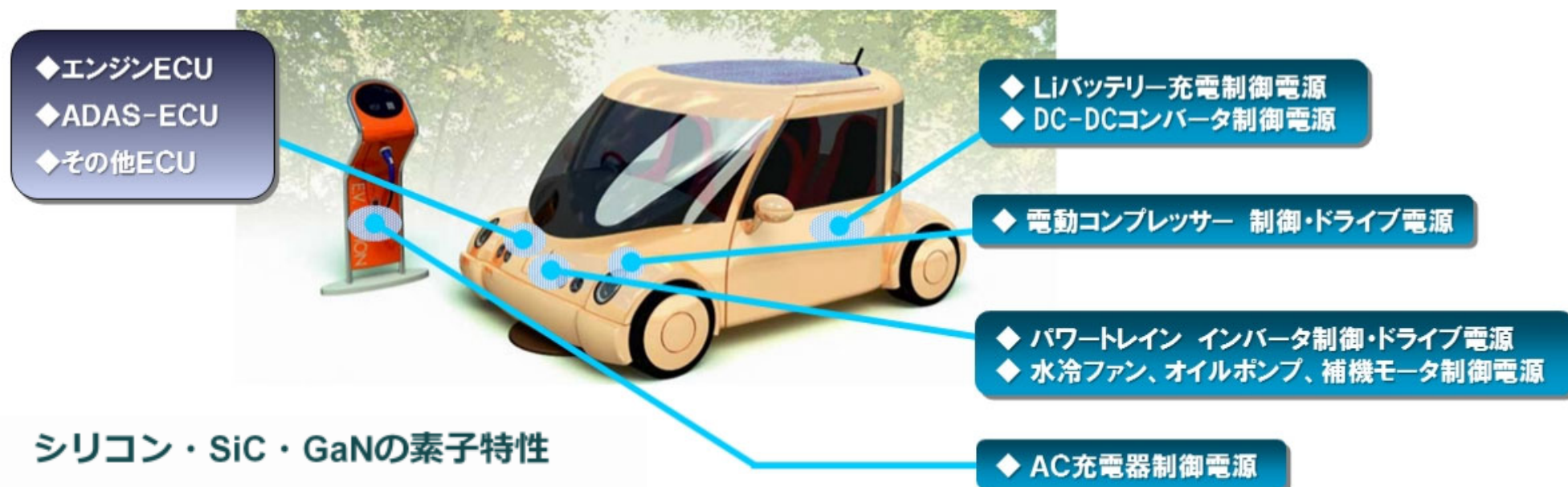
高品質GaN薄膜・バルク結晶の新たな合成法

物質・材料研究機構
機能性材料研究拠点
超高压グループ
主幹研究員 川村史朗

発表の流れ

- GaN単結晶基板に対する期待
- Naフラックス法によるGaN単結晶育成の背景
- 研究内容の概要(進捗・研究計画)
- 権利化状況等

- ・ **自動車の将来像**: 車載の各パーツで大電流, 高電圧化が進む
- ・ **シリコン半導体では限界**: ・ 電流, 電圧に耐えられない、・ 重量が大きく増加してしまう



シリコン・SiC・GaNの素子特性

物性		Si	SiC	GaN
バンドギャップ	eV	1.1	3.3	3.4
電子移動度	cm ² /Vs	1350	700	1500
破壊電界	MV/cm	0.3	3.0	3.3
性能指数	$\epsilon\mu_e E_c^3$	1	440	1130

GaN・SiCはシリコンに比べて・・・

高耐圧
～10倍

高耐熱
～1000℃

小型化
～1/1000

高速
～100MHz

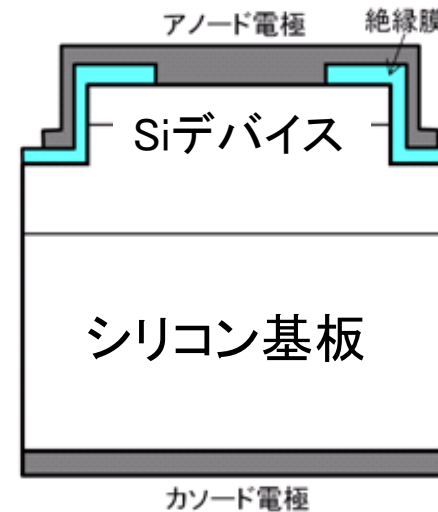
・ 窒化ガリウム(GaN)、炭化ケイ素(SiC)半導体デバイスが必要

GaN半導体の現状・デメリット

Si基板



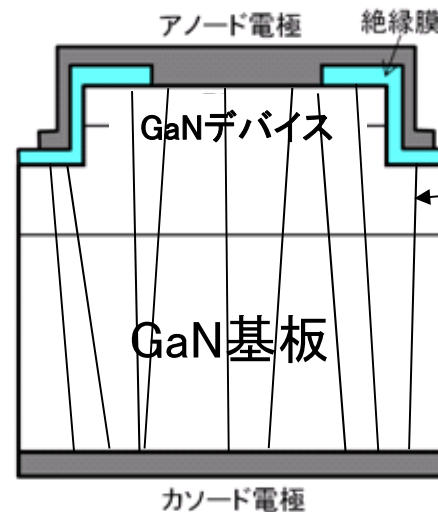
最大:12インチ



GaN基板



最大:2インチ:>¥数10万

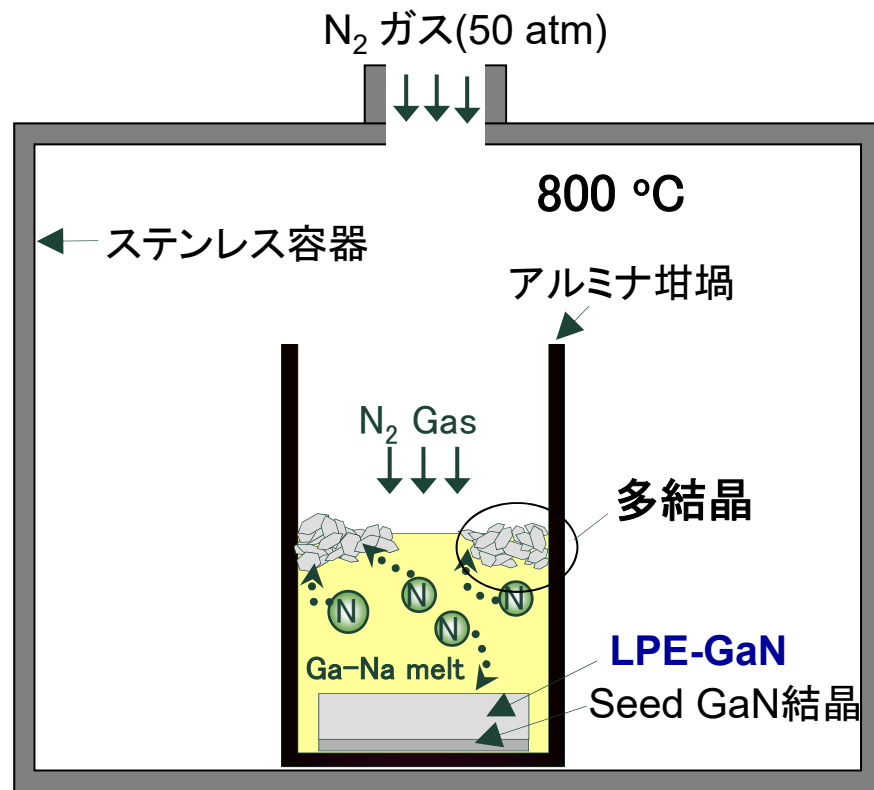


欠陥
大電流が流れた際に、デバイスを壊す

要改善点:・欠陥が多い,・サイズが小さい,・高価格

Naフラックス法によるGaN単結晶育成の背景

- ・**手法**: Ga-Na混合融液中に、50気圧程度で窒素を溶かすことで液中でGaN結晶が生成(Yamane.et.al. 1997)
- ・**特徴**: 高圧窒素ガスを原料とした液相結晶成長法



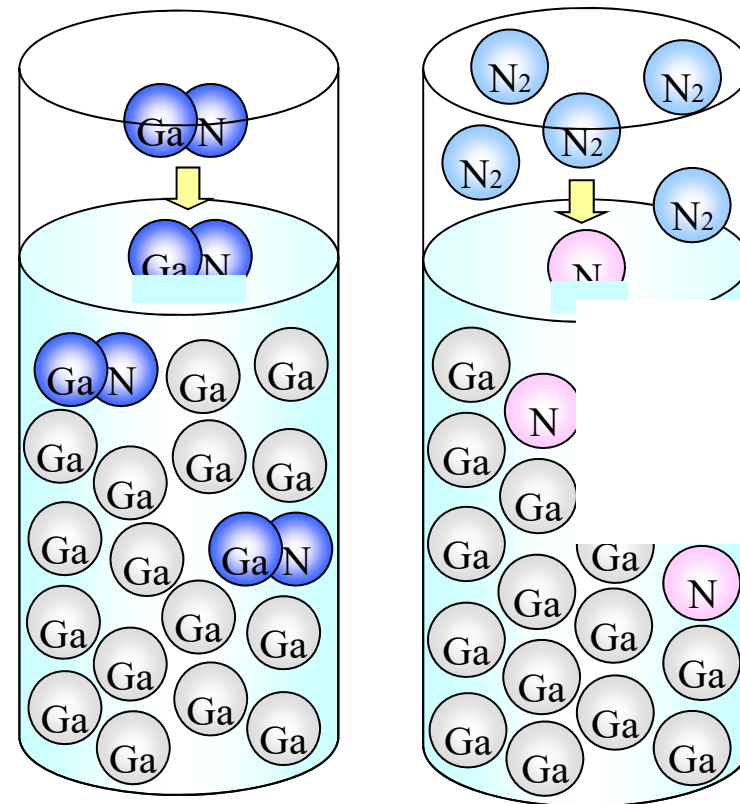
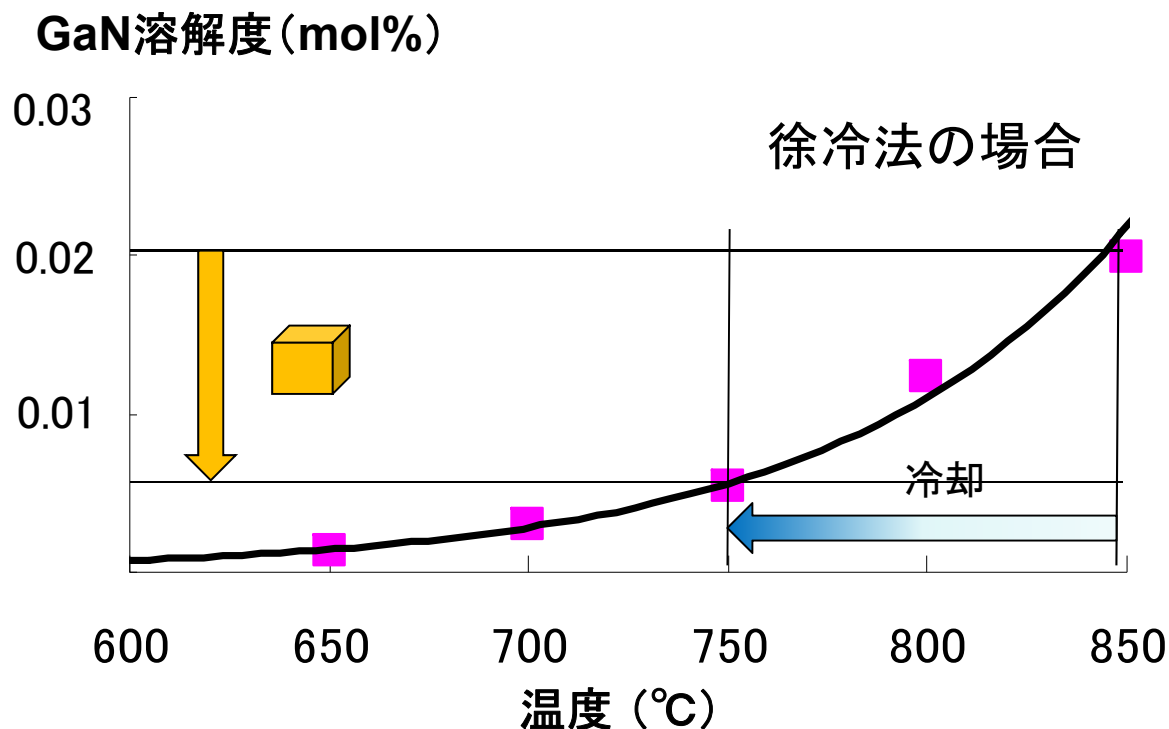
研磨



・フラックスに対するGaNの溶解度はほとんどゼロであるにもかかわらず、大型結晶が生成

原理：Naフラックス法によるGaN結晶合成

・Ga-Na合金融液に対するGaNの溶解度曲線



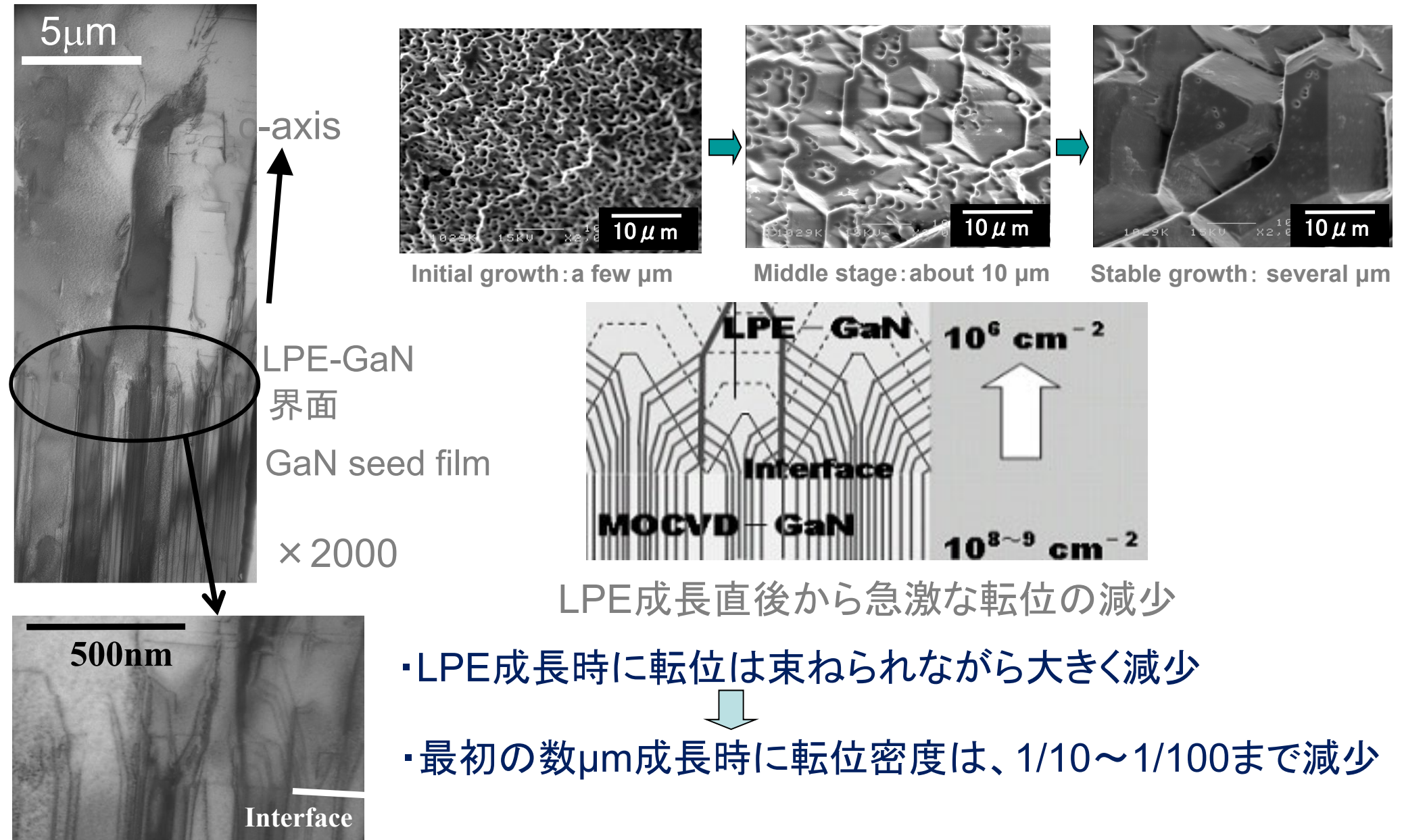
・Ga-Na溶媒中では冷却による手法では、結晶はほとんど合成できない



Point: 気体を原料として使うことで結晶合成が可能

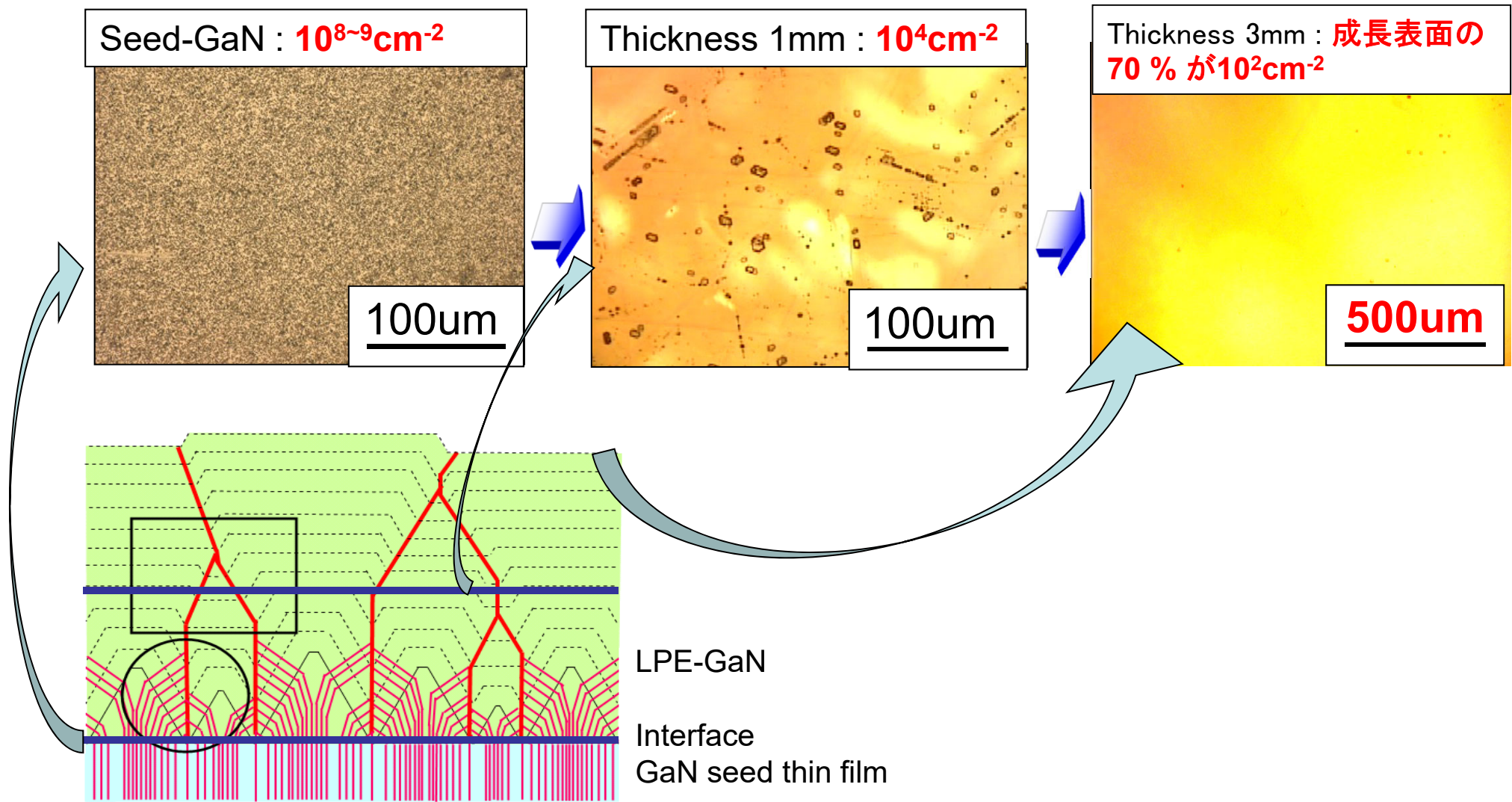
連続的に気体が溶解することで、大きな生成量を得られる

転位伝搬の様子

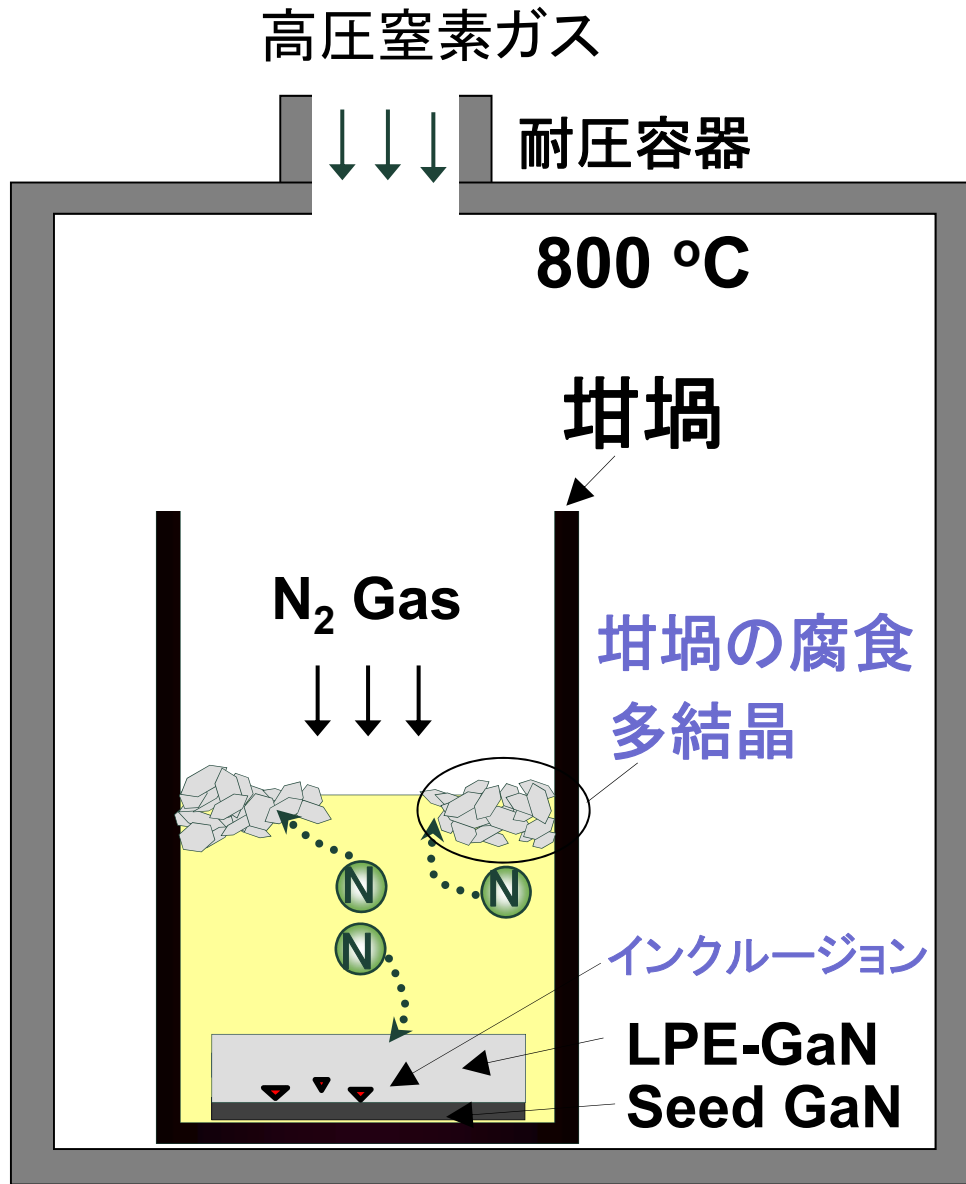


成長と共に自動的に転位が大幅に減少

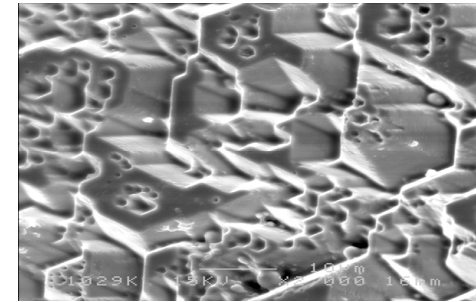
・膜厚3mmまで成長させた時の転位密度変化



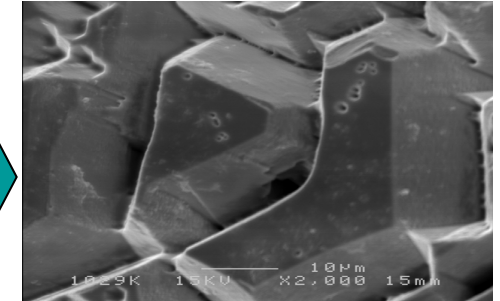
成長表面の約70%が転位密度 10^2cm^{-2}



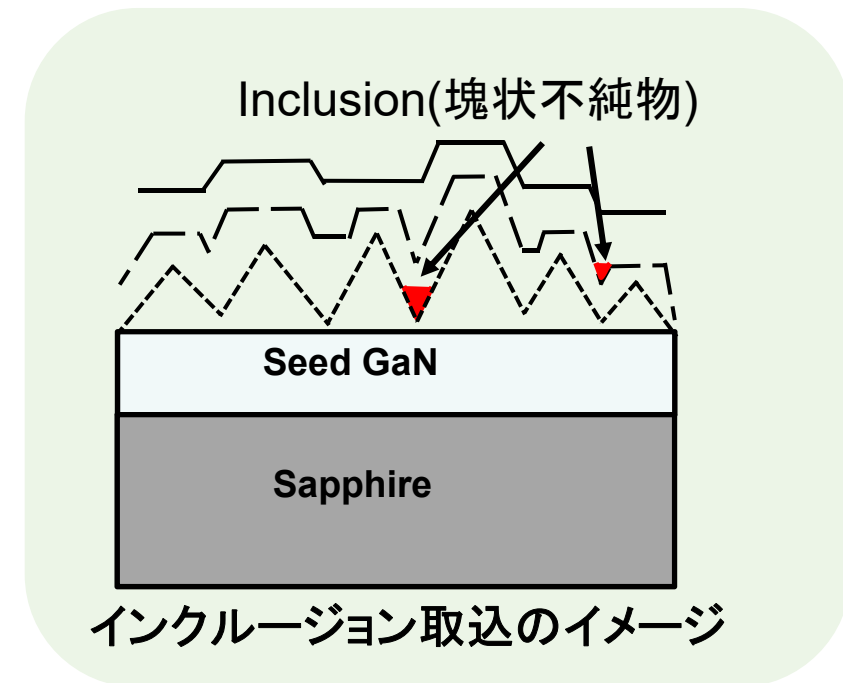
インクルージョンの取込み



LPE初期: 膜厚10 μm



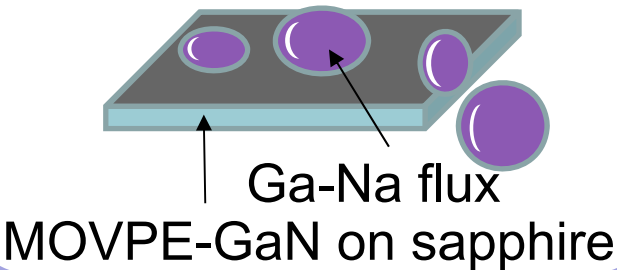
安定成長段階: 数10 μm



通常のNaフラックス法の問題点: Inclusion!!

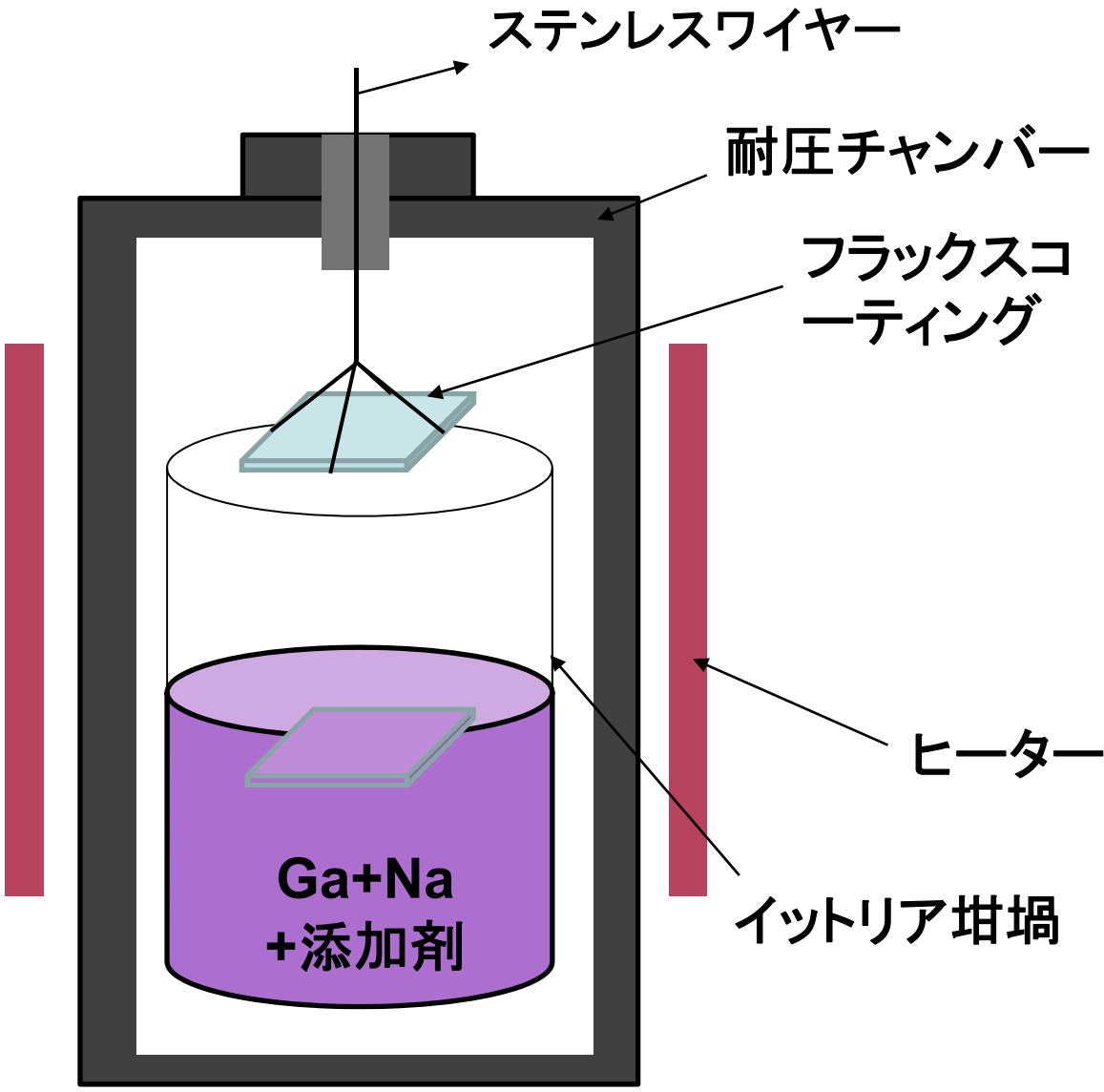
FFC-LPE法のコンセプト&添加物の役割

FFC-LPEの問題点:
フラックスが流れ落ちる



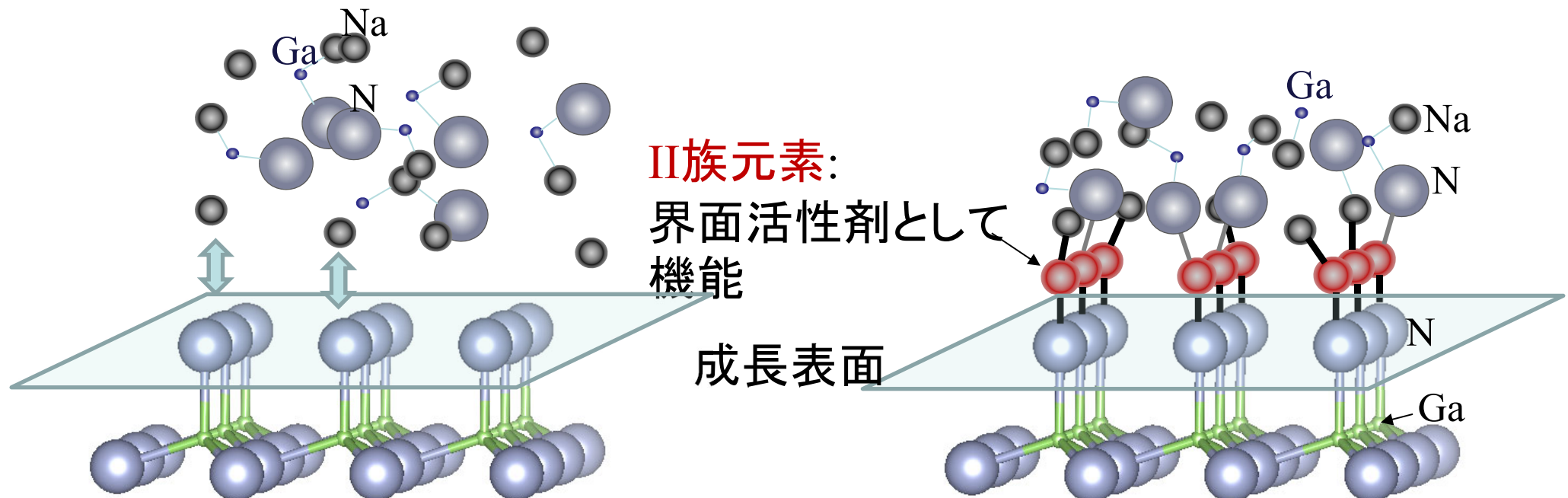
対策 → 濡れ性の改善

II族元素の添加
(Ca, Sr, Mg, Ba)

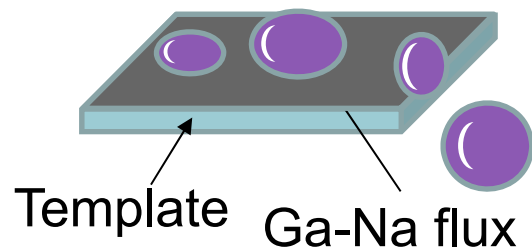


FFC-LPEの実験方法

II族元素の界面活性剤効果のイメージ



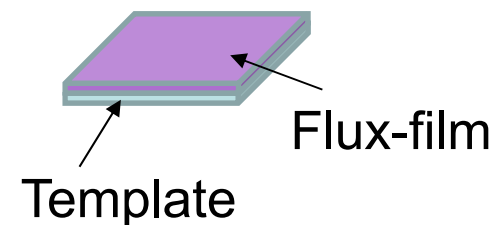
Ga-Naフラックスが流れ落ちるイメージ



Na-N: 結合力が極めて小さい
(Solubility of N in Na melt: 10^{-11} at.% at 800 °C)

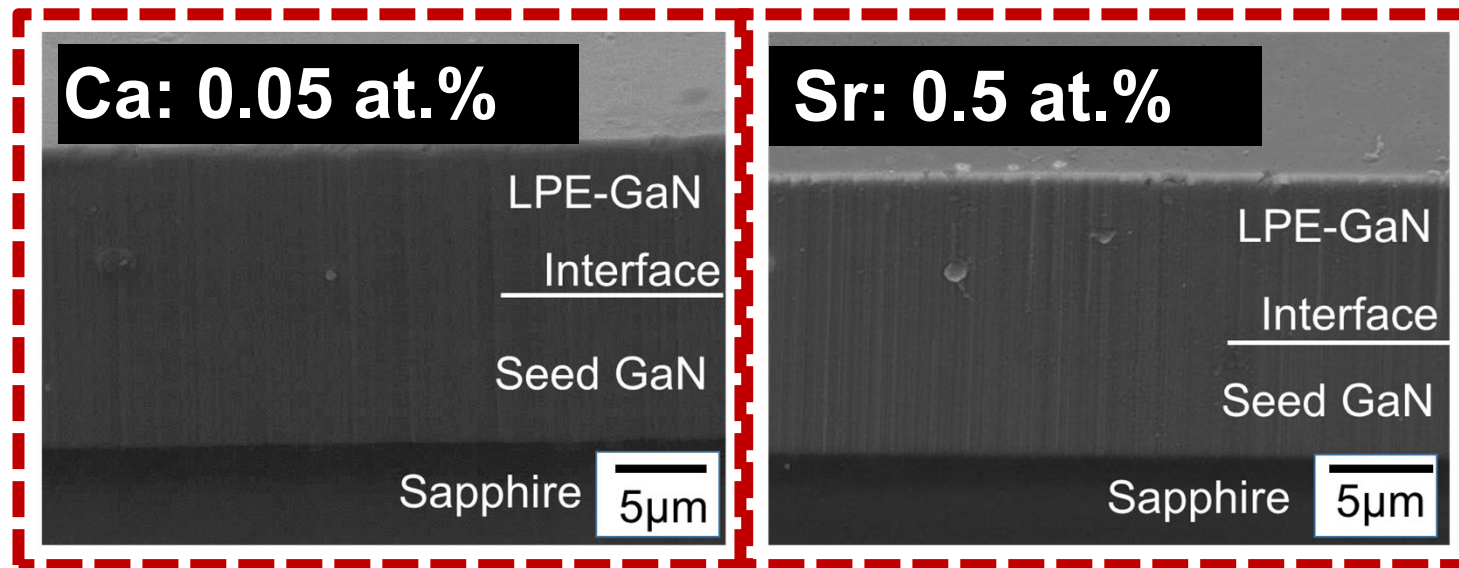
Ga-N: 結合力が小さい
(Solubility of N in Ga melt: 10^{-9} at.% at 600 °C
 10^{-7} at.% at 1,500 °C)

II族元素を添加した時の
濡れ性改善のイメージ



Na-group II: 結合しやすい

N-group II: 結合しやすい (Ca₃N₂, M.P.:1195°C)

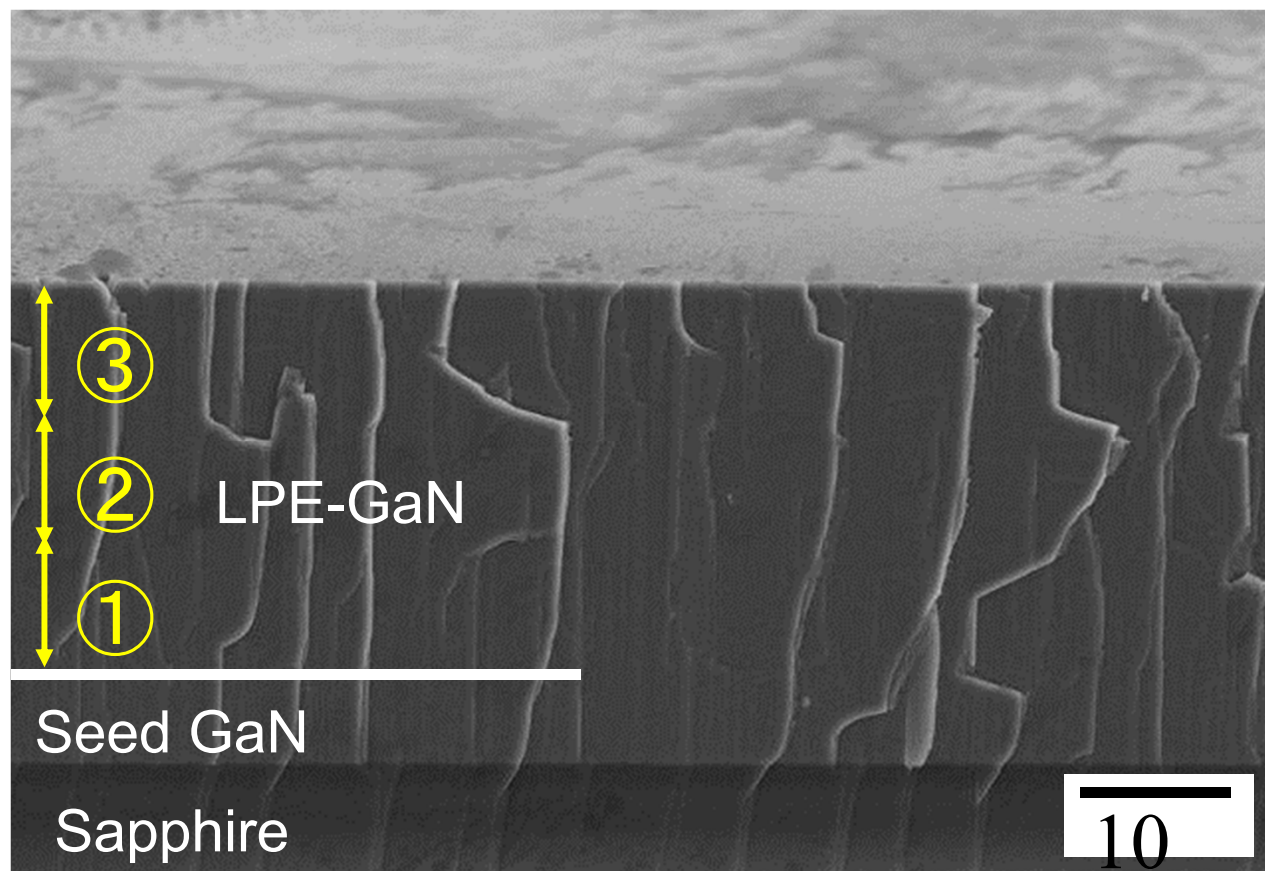
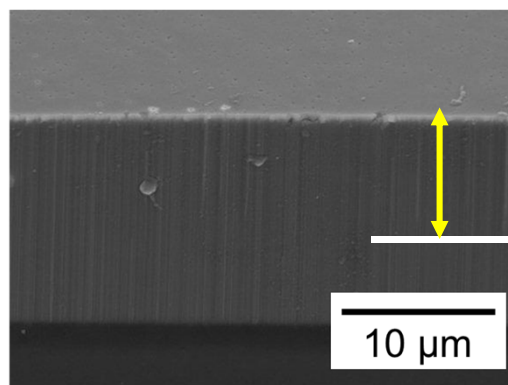


□ IIa族元素添加： シードGaNとGa-Naフラックスの間の濡れ性を大きく改善

FFC-LPE過程を3回繰り返した実験

3回成長

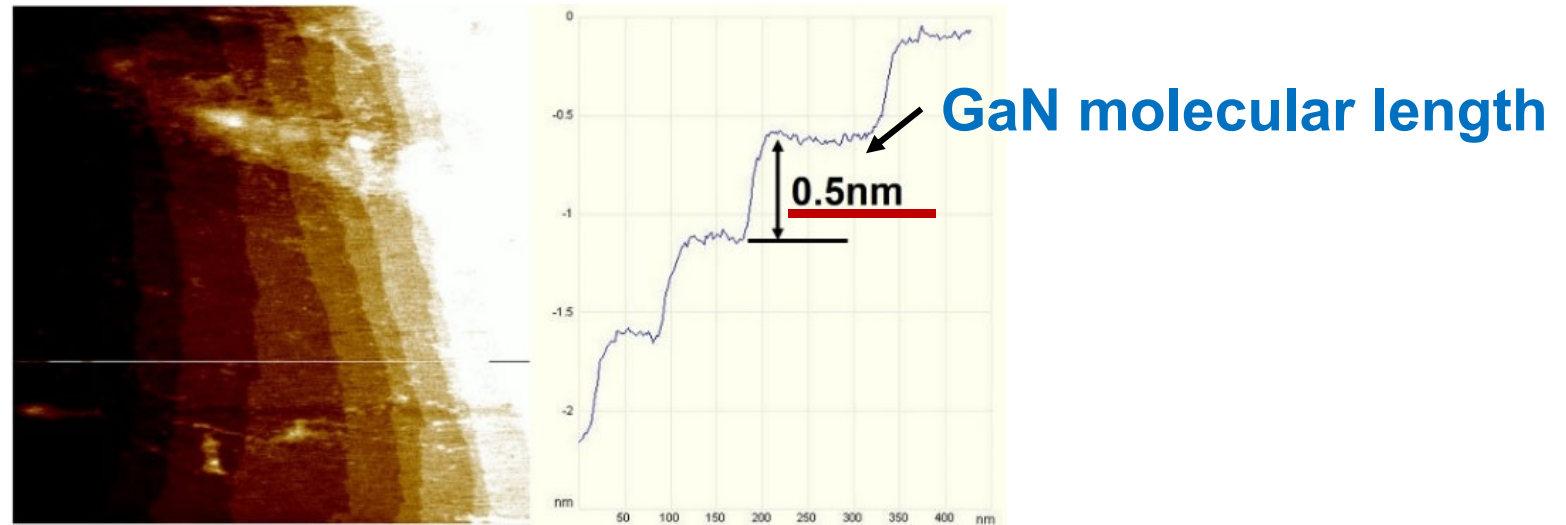
1回 成長



GaNの断面SEM

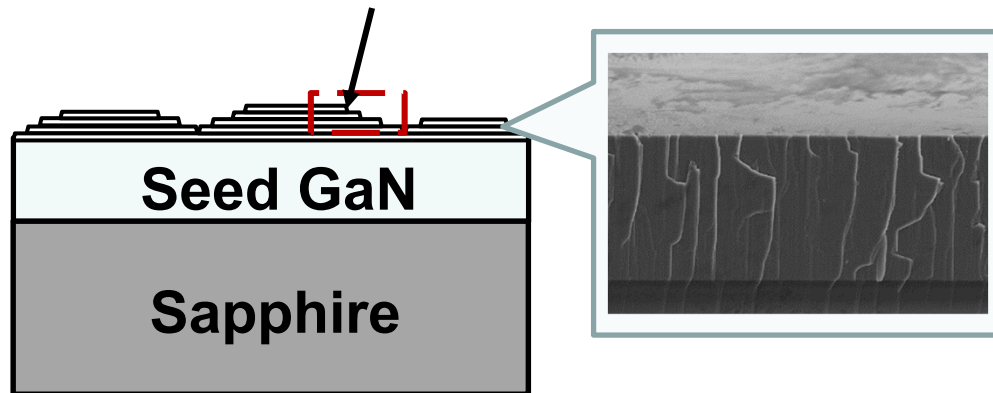
μm

□ 厚膜化可能 (各成長サイクルの界面が明確でなく、スムーズ)

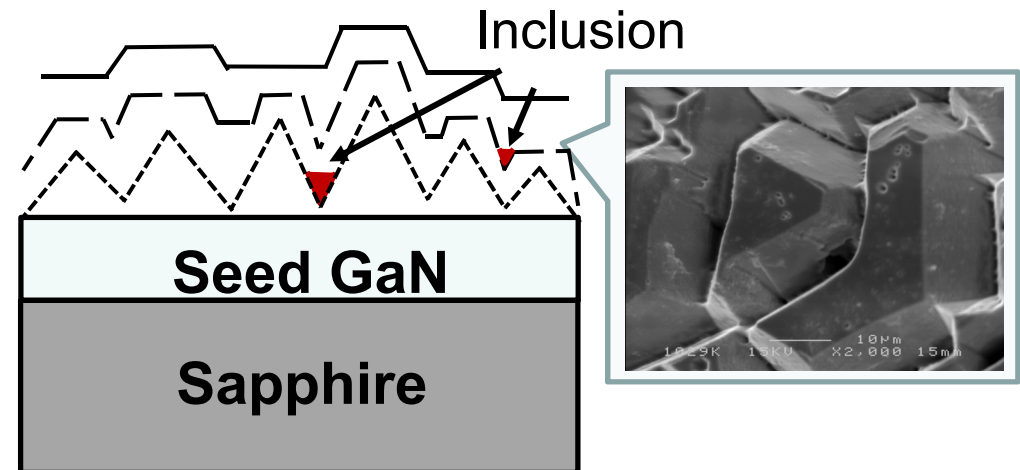


GaNの表面のAFMイメージ

単一分子の高さを持つステップで成長



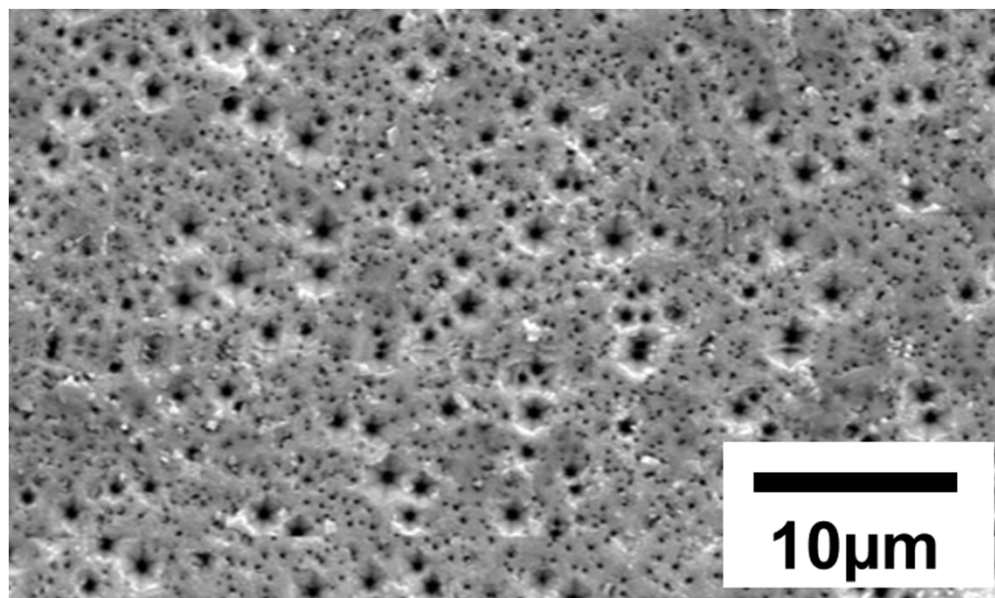
FFC-LPE in Ga-Na



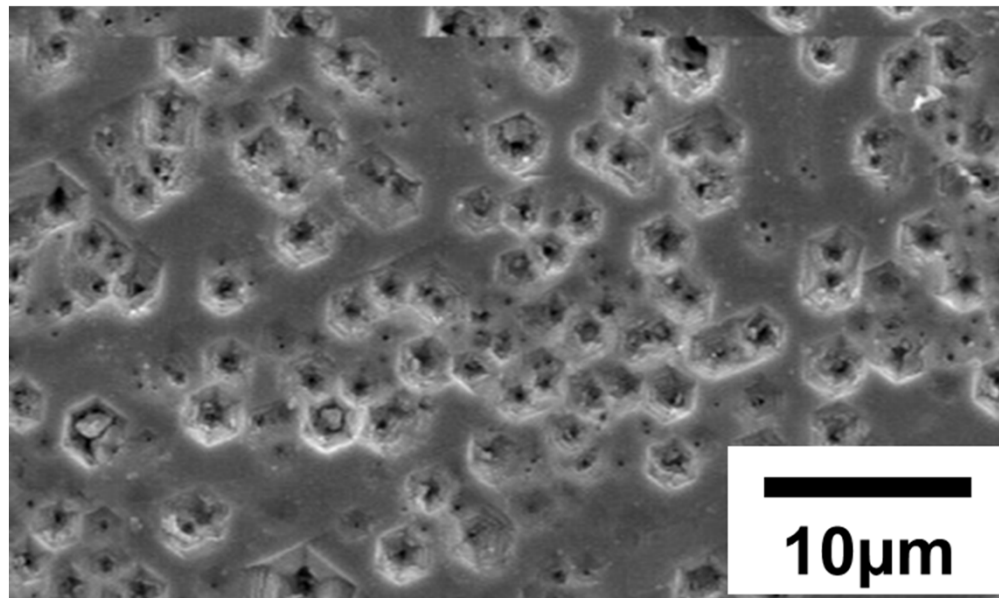
Naフラックス法の問題点

Naフラックス法の問題点であるinclusionがFFC-LPE法を用いることで解決した

Seed GaN



FFC-LPE GaN



NaOH でエッチング処理後のシードGaN(左)とFFC-LPEで成長させたGaN(右)のSEM写真

$2.9 \times 10^8 \text{ cm}^{-2}$ $\xrightarrow{\text{FFC-LPE}}$ $2.5 \times 10^6 \text{ cm}^{-2}$

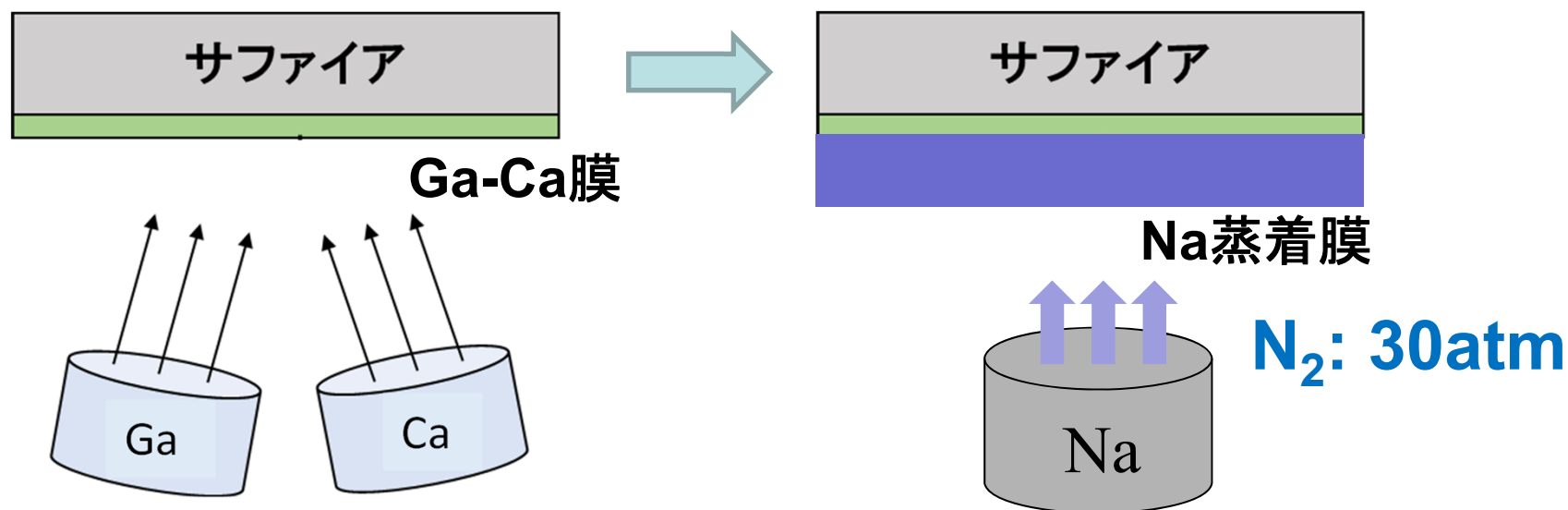
パワーデバイスへの応用の為求められる転位密度: 10^6 cm^{-2} オーダー以下

□ 結晶内の転位密度の低減

大型GaN基板結晶を合成可能な装置の開発

①現状の手法を大型炉に移行

②スパッタリングを用いて高度化し、成長技術を進展させる



極めて転位密度の低いGaN基板を合成
繰り返し合成により、厚膜化も可能

本技術に関する知的財産権

- 発明の名称: GaN単結晶成長方法及びGaN単結晶成長装置
 - 登録番号 : 第6631813号
 - 出願人 : 株式会社フェニックス・テクノ / 物質・材料研究機構
 - 発明者 : 川村史朗、有馬和重、川野祐司、服部佑泰
-
- 発明の名称: 窒化ガリウム単結晶の製造方法及びIII 族元素窒化物単結晶の製造装置
 - 登録番号 : 第6606562号
 - 出願人 : 株式会社フェニックス・テクノ / 物質・材料研究機構
 - 発明者 : 川村史朗、有馬和重、川野祐司、服部佑泰

実用化に向けた課題

- 実用化に向けて、装置技術を確立する必要あり.



- 装置のスケールアップ化:2インチ以上の結晶育成を可能とする装置を開発.

企業への期待

- スケールアップに向けた装置開発技術を持つ企業とのコラボレーションを希望.

お問い合わせ先

国立研究開発法人物質・材料研究機構 外部連携部門 企業連携室

企業様向け総合窓口HP（スマホ対応）

<https://technology-transfer.nims.go.jp/>



企業様向けの相談窓口です。各種お問い合わせ・ご相談などお気軽にご連絡ください。



基礎研究を社会へつなげる

— 企業様向け総合窓口 —

NIMSでは「**使われてこそ材料**」の理念の具現化を目指し、独創性の高い基礎研究に基づいてNIMSの技術を産業界へ橋渡しする活動を行っています。

- ・ ニーズ・シーズマッチングのためにNIMS研究成果を知って頂く「**技術情報循環の場**」（“NIMSの研究を知る”へ）
- ・ NIMSの技術を産業界とともに発展させる「**共同研究の場**」（“NIMSと連携する”へ）

を設け、特許ライセンスや技術指導、共同研究などを通して実用化に向けて取り組んでいます。

NIMSと連携する

装置利用/技術提供(業務実施・技術指導)
/研究試料貸与/実施許諾/共同研究

NIMSの研究を知る

展示会でのポスターデータ等

