

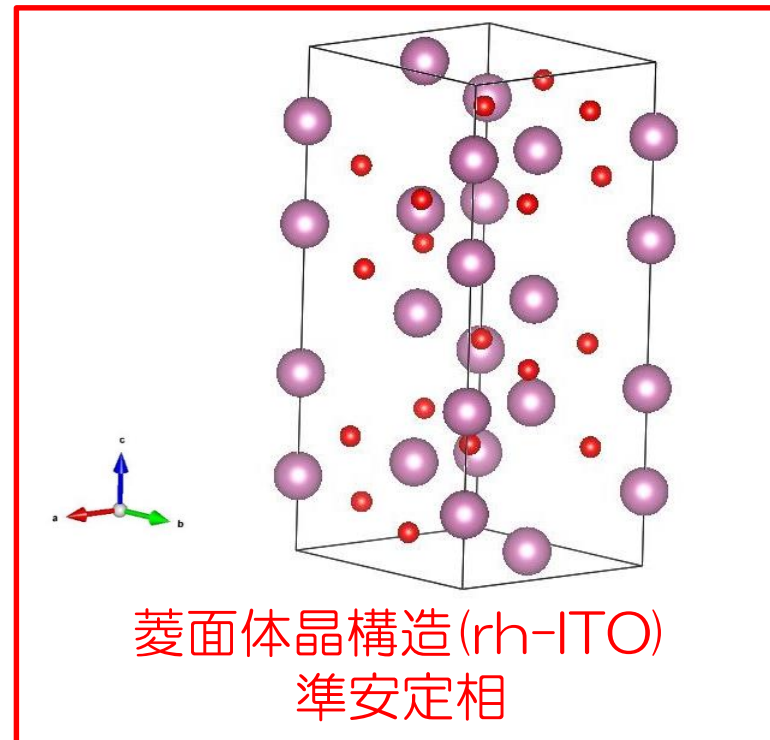
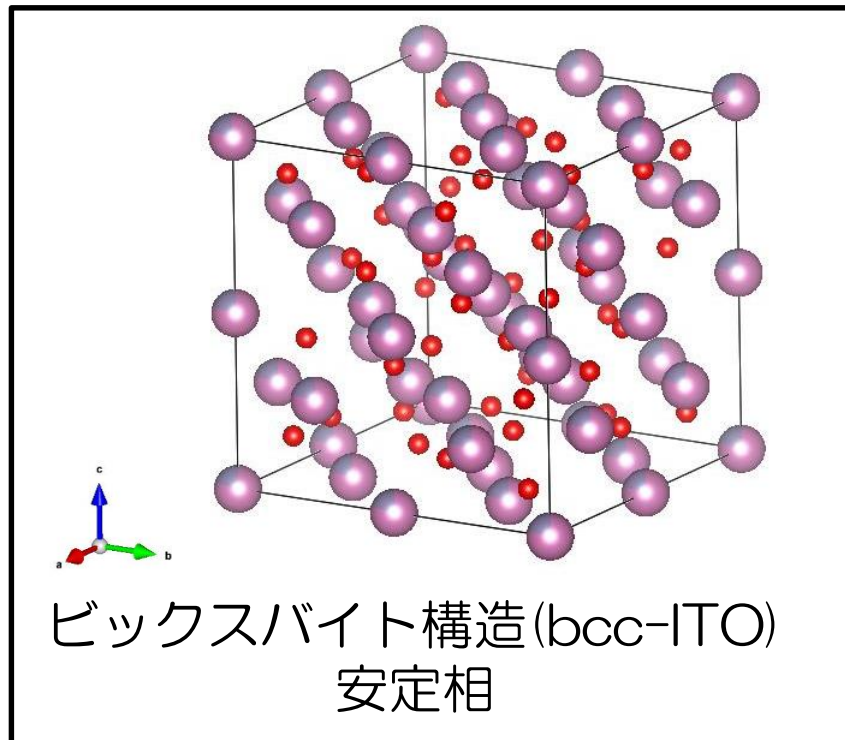
GaNとほぼ格子整合する 新しいITO膜の形成技術



京都工芸繊維大学
KYOTO INSTITUTE OF TECHNOLOGY

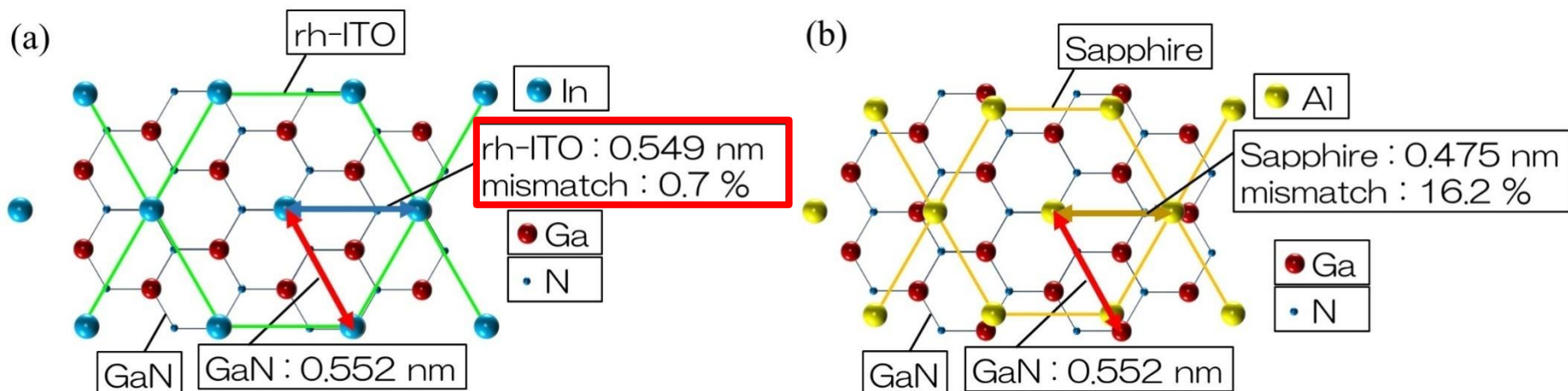
京都工芸繊維大学 電気電子工学系

助教 西中 浩之



現在利用されているITOは全て、ビックスバイト構造もしくは非晶質。
菱面体晶構造 (rh-ITO) は合成に高圧が必要なため、
作製例がほとんどなかった。
新技術では、このrh-ITO膜の形成に成功した。

rh-ITOは、GaNと格子定数がほぼ一致（ミスマッチ：0.7%）

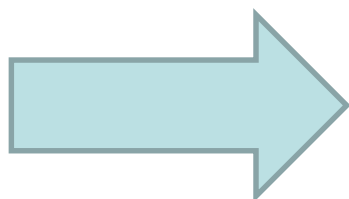
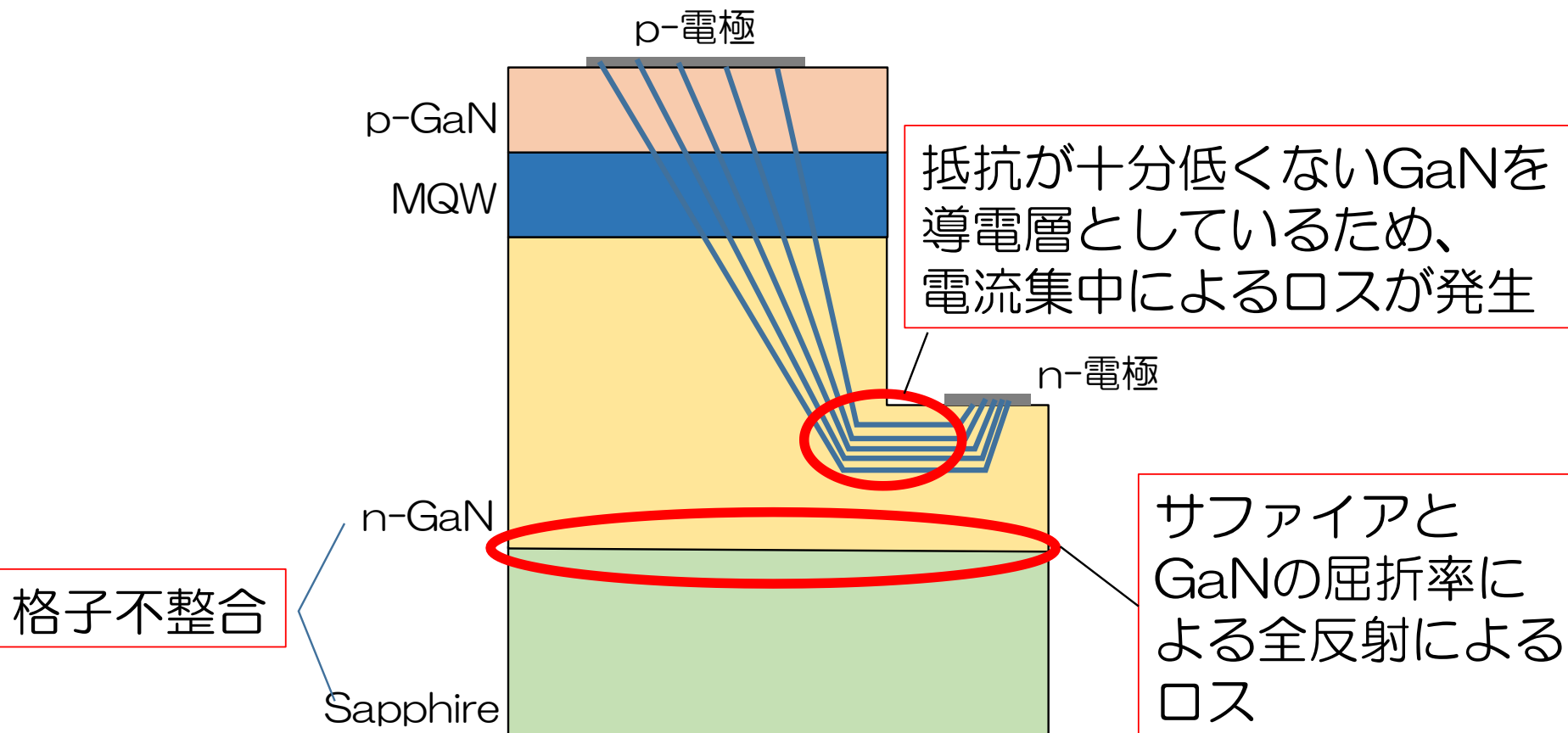


材料	a軸長	不整合度
GaN	0.319	0%
sapphire	0.475	16.2%
rh-ITO	0.549	0.7%
AlN	0.311	2.5%
SCAM	0.325	1.8%
ZnO	0.325	1.9%
SiC	0.308	3.6%
Si(111)	0.384	17.0%

GaN自身を除いて、
最も格子不整合が小さい

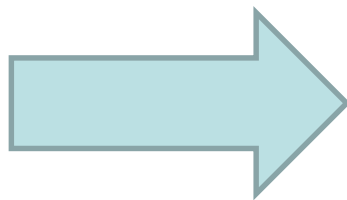
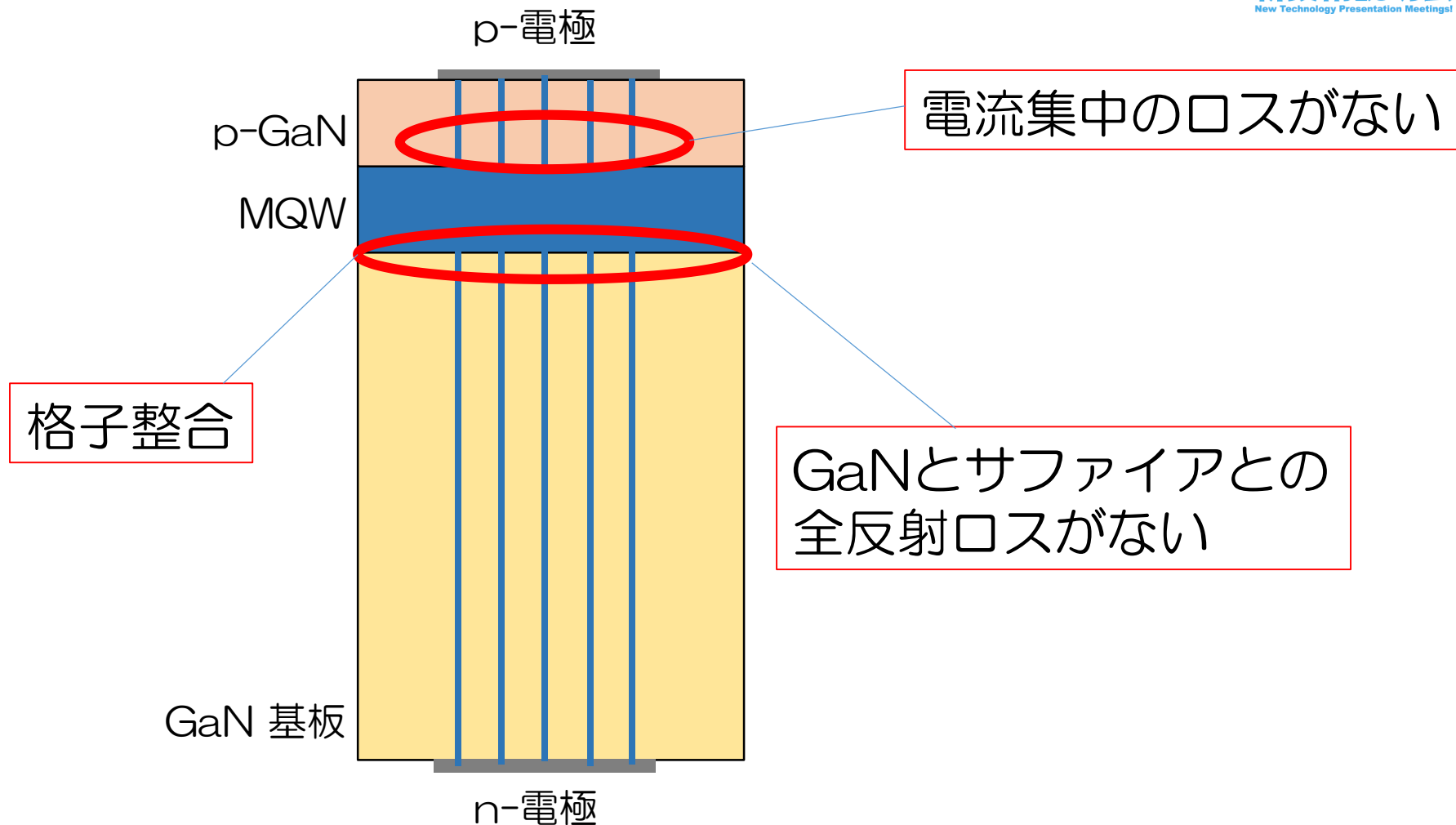


rh-ITOをバッファ層に利用
できれば、..



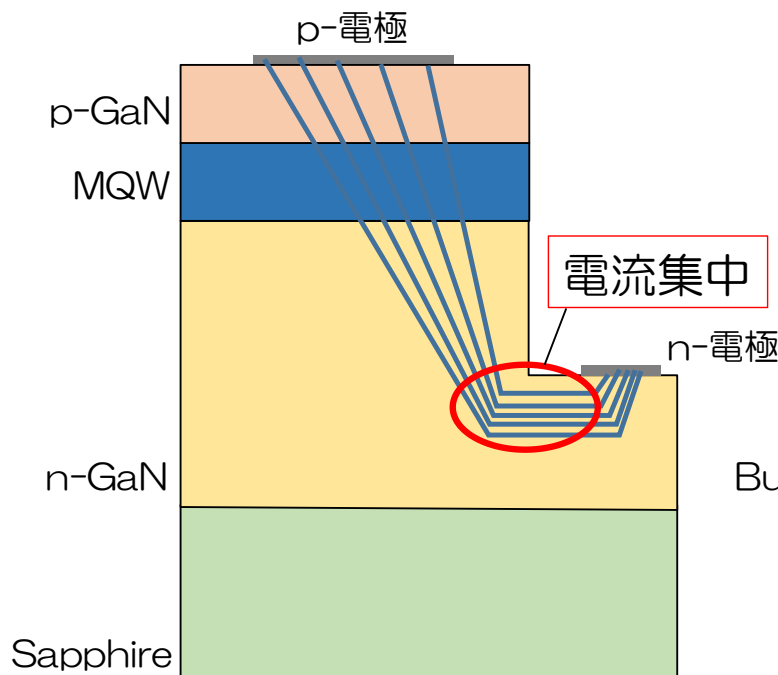
現状の多くの課題に対して、
基板を変更する検討が進んでいる

従来技術とその問題点2

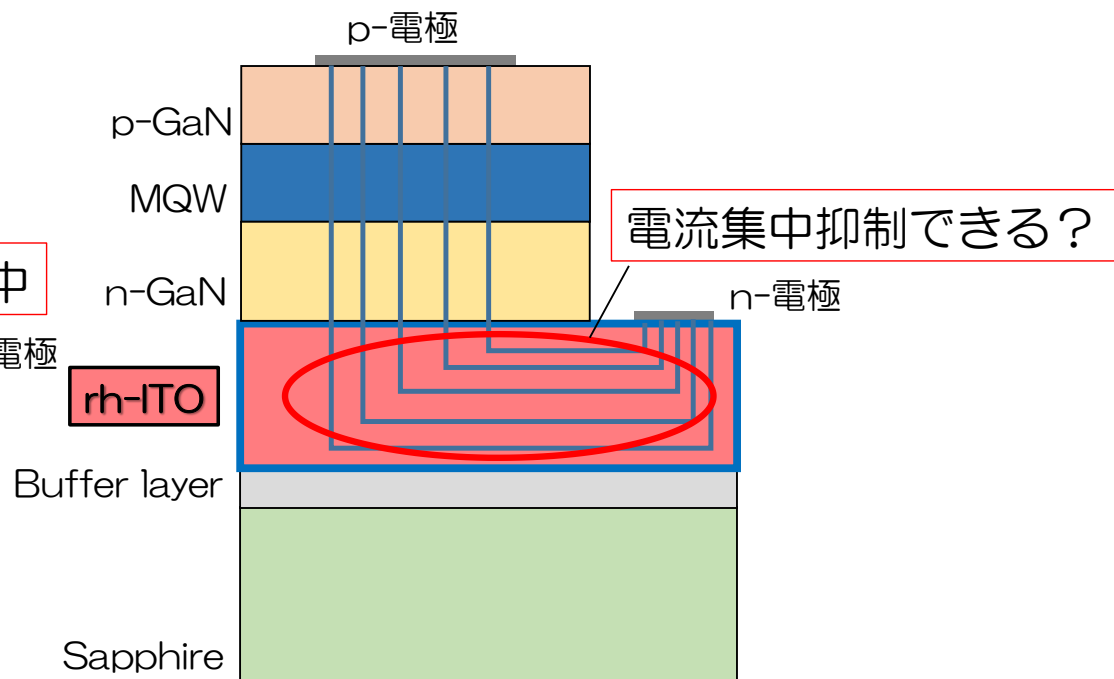


理想形であるGaN基板はコストが高い

(a) 従来



(b) rh-ITO



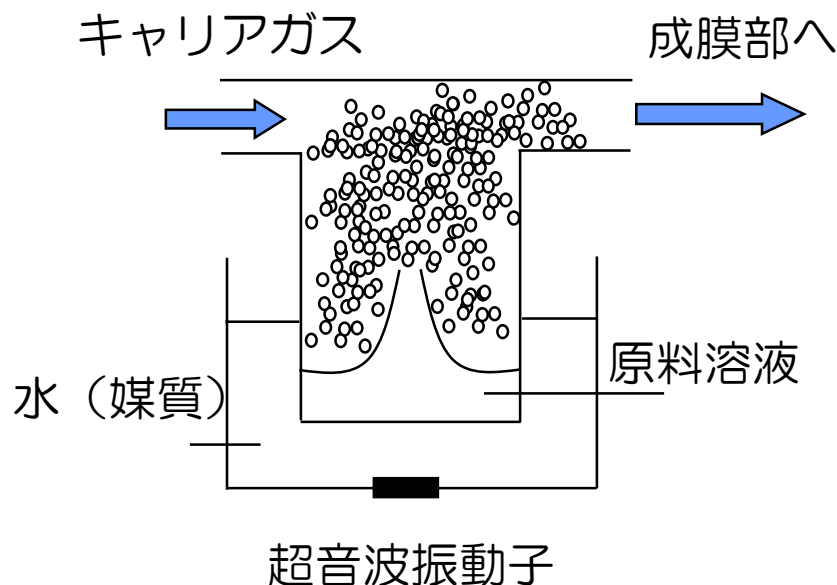
よりキャリア密度を大きくできるrh-ITOをバッファ層兼導電層として利用すれば、LEDの電流集中の抑制や擬似的な縦型デバイスを形成できる可能性がある。
rh-ITOは従来のサファイア基板上の形成できるため、GaN基板程コストは高くない

ミストCVD

低環境負荷なグリーンテクノロジー



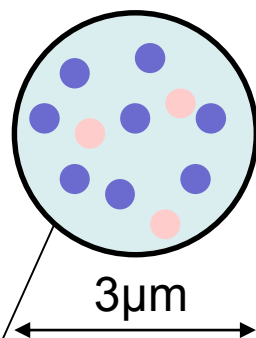
ミストの例



ミストCVDとは、
成膜原料を含む液体をミスト状にして、基板などに吹き付けることで成膜する手法
ポイント

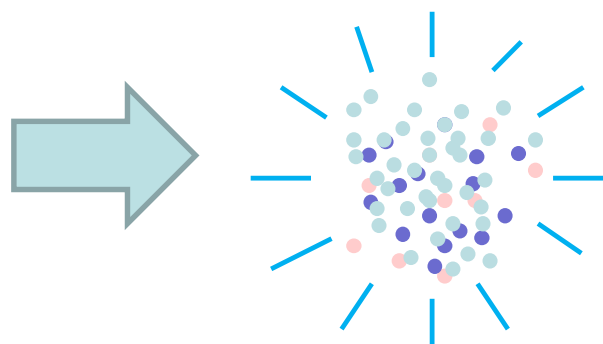
- 真空などを使わない低エネルギーな方法
- 気化が不要なため、取扱い容易、安全な材料が利用可能
- ドーピング、混晶も液体に同時に混ぜるだけで可能

- In原料
- Sn原料
- 水

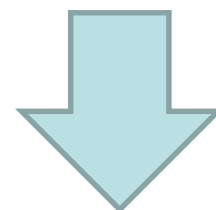


InとSnの原料を同時に
水に混ぜるだけ！

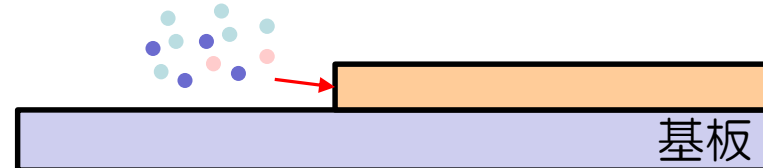
加熱による気化

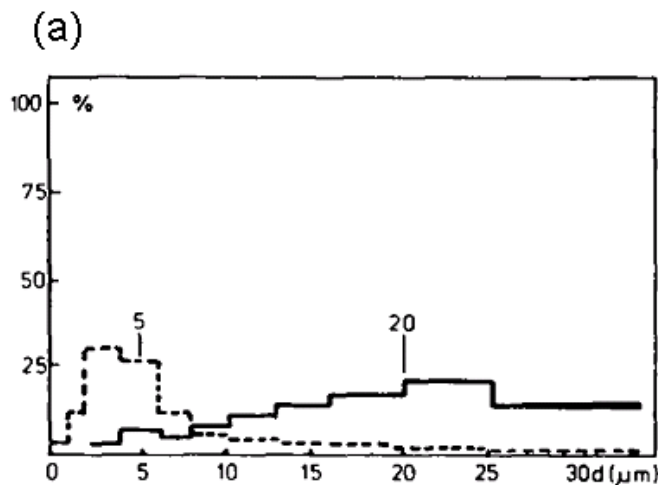


粒径が小さいので
容易に気化する

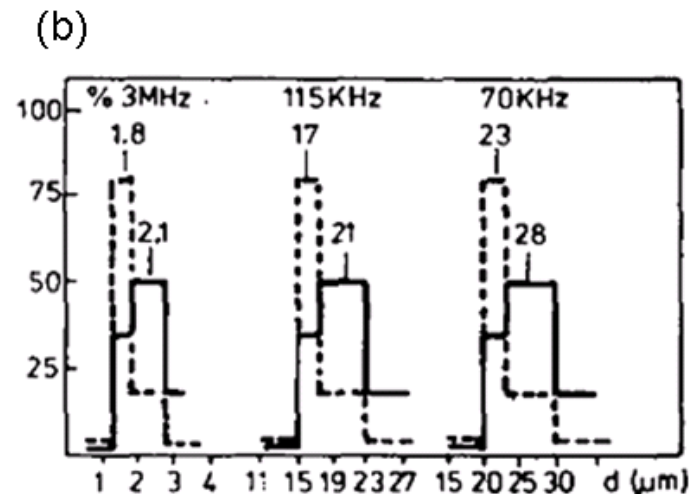


CVDによる成膜





加圧式



超音波方式

※ref

利点

欠点

加圧式

簡単
大量に使用可能

粒度分布が広く、粒径が大きい
速度を持つため、制御が困難

超音波方式

粒度分布が小さい
速度を持たないので、
ガスのように扱うことができる

扱いが若干困難
噴霧が難しい材料もある

ミストの粒径: Langの式

$$d = k \left(\frac{8\pi\sigma}{\rho f^2} \right)^{1/3}$$

ミストの粒径は2~3 μm 程度
(2.4MHz)



微粒子の沈降速度は10~
数100 $\mu\text{m/s}$ 程度しかない



つまり、空気中に漂い、移送
管内であまり凝集せずに容易
に反応部に送り込める

終末沈降速度: 微粒子が定常状態になった時の速度

静止流体中: 空気中(20°C)、水微粒子

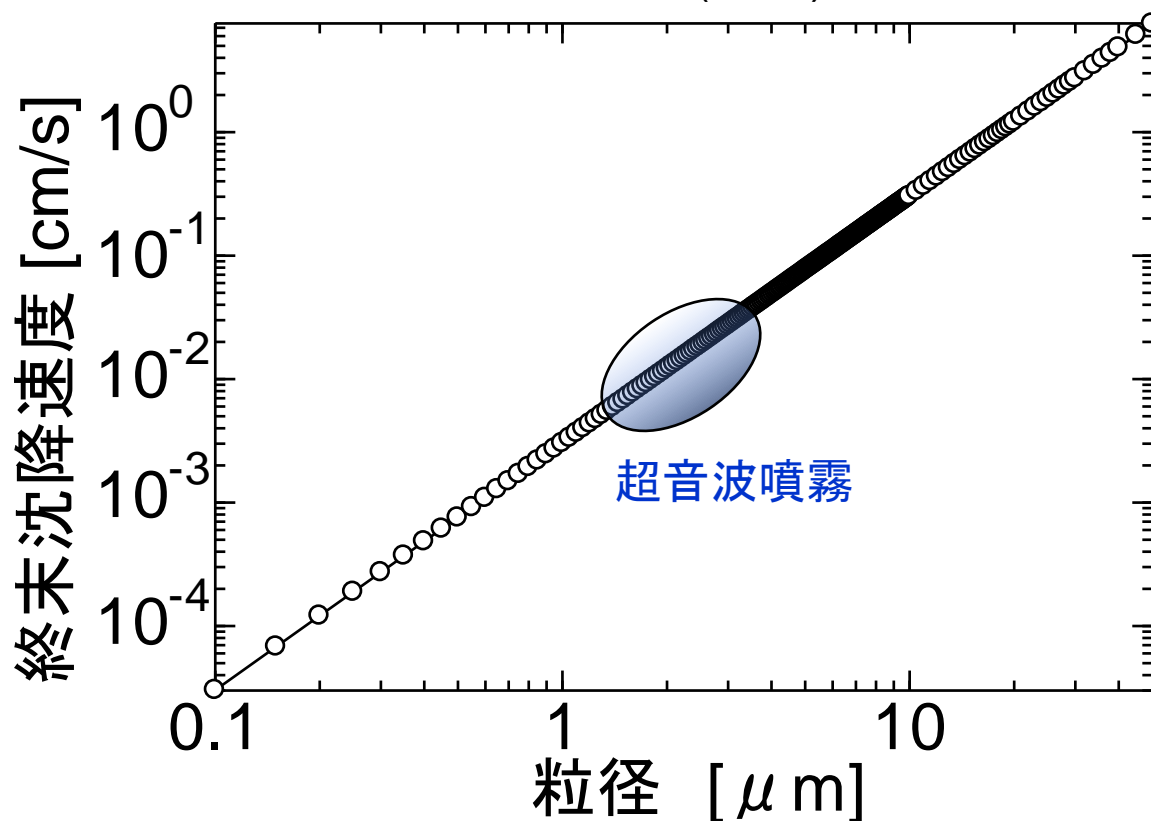
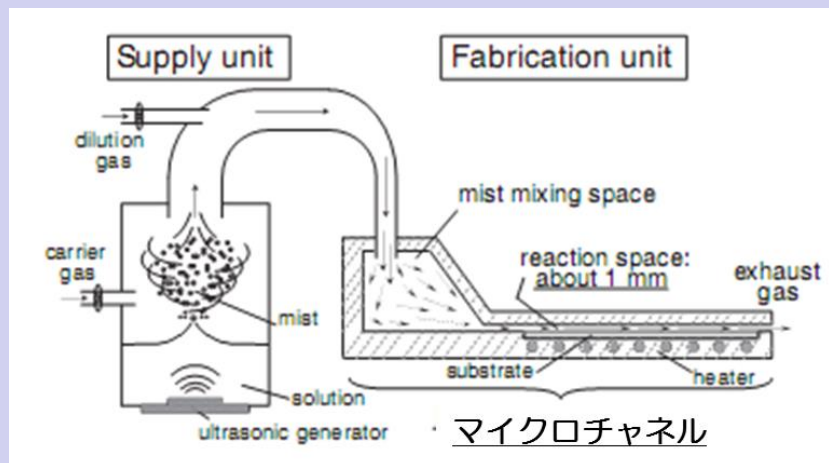
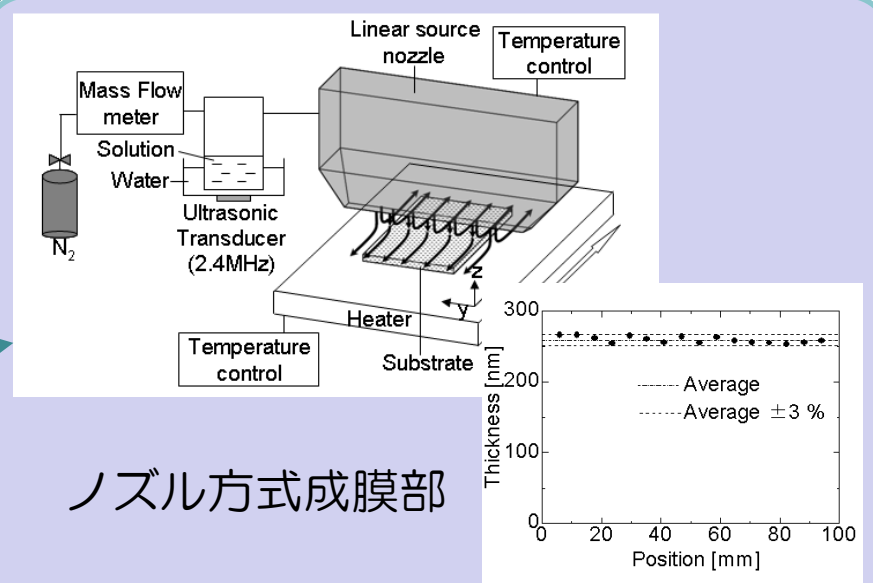
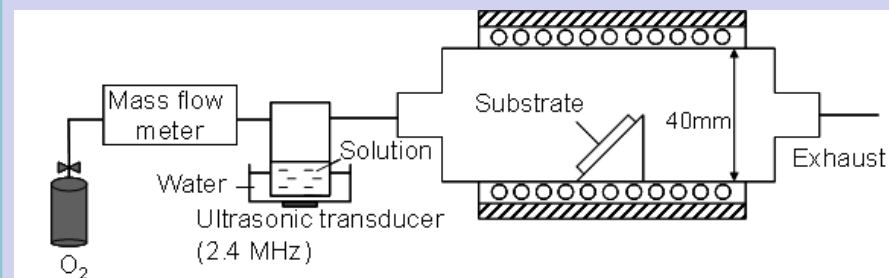


図. 終末沈降速度と粒径の関係

流路方式成膜部




管状炉方式成膜部



ノズル方式成膜部

ミストCVDで形成できる金属酸化物

H																	He
Li	Be											B	C	N	O	F	Ne
Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl	Ar
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
Cs	Ba		Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn

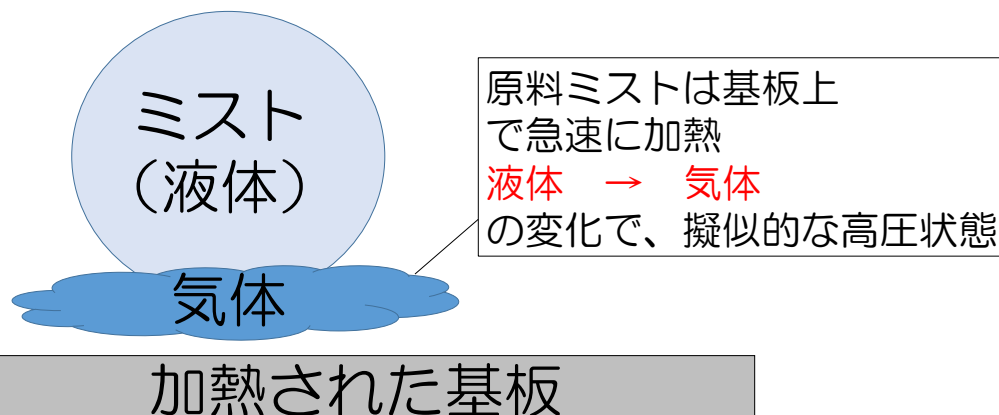
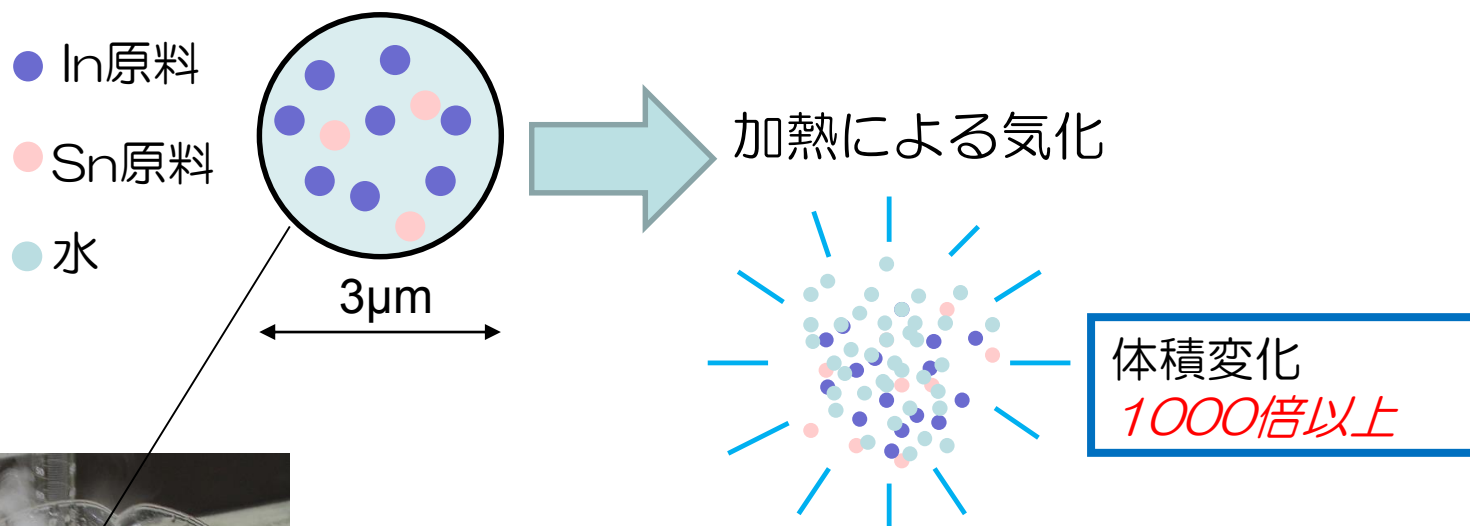
 当研究室で検討可能な金属酸化物

 ミストCVD法で実績のある金属酸化物

☆rh-ITOの作製方法のキーポイント

合成に必要な条件 : rh-ITOは合成に高圧が必要

- ・ミストCVD法による水の擬似的な高圧状態

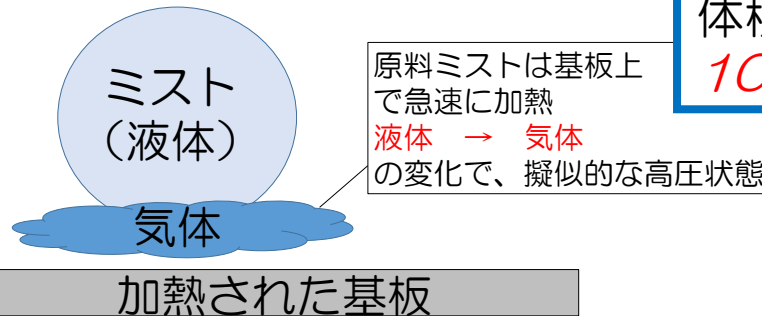


☆rh-ITOの作製方法のキーポイント

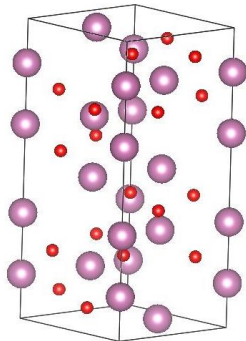
合成に必要な条件 : rh-ITOは合成に高圧が必要

→ 二つのアプローチでrh-ITOを作製する

- ミストCVD法による水の擬似的な高圧状態



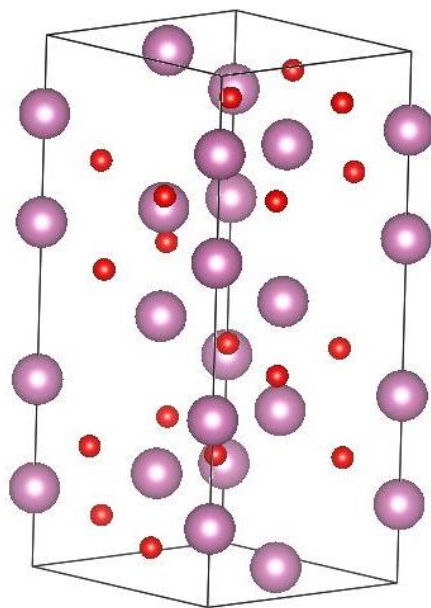
- 同じ結晶構造であるサファイアと緩衝層を利用したエピタキシャル成長技術



rhombohedral : corundum

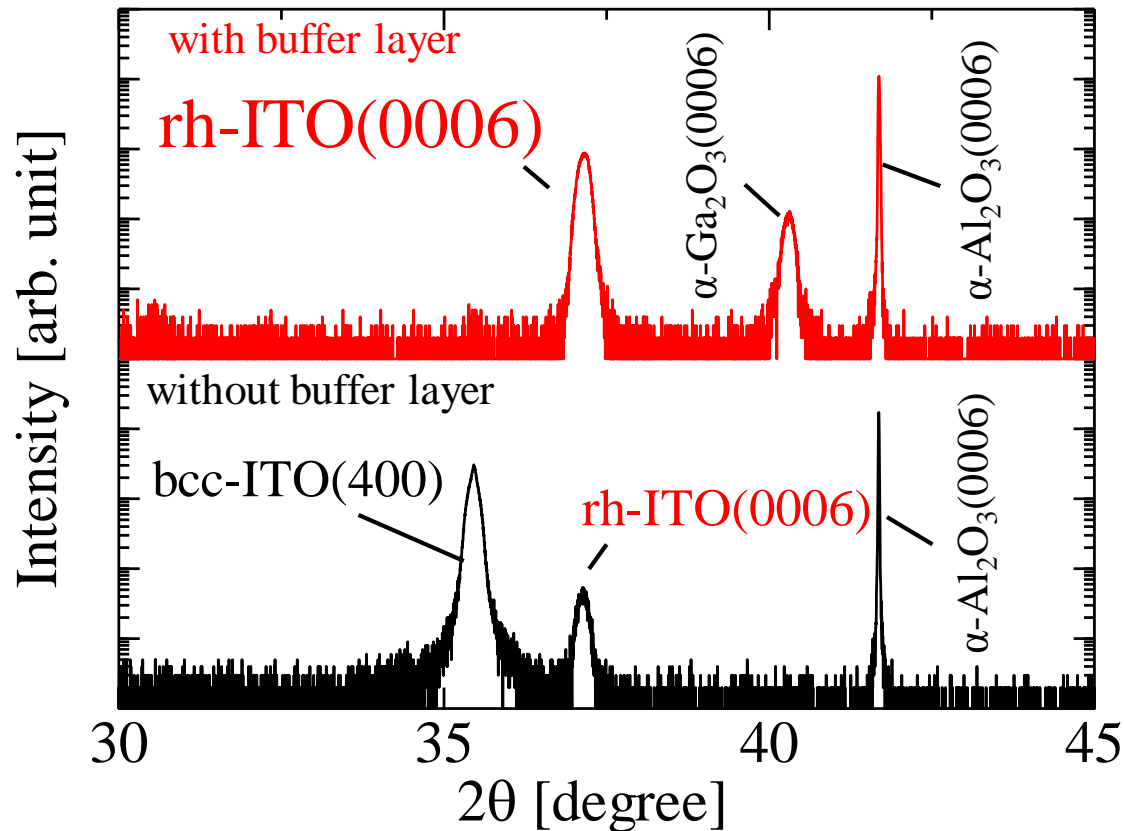
層	材料	a軸長(nm)
基板	sapphire	0.475
緩衝層	α -Ga ₂ O ₃	0.498
エピタキシャル層	rh-ITO	0.549

- ・ **同じ結晶構造であるサファイアと緩衝層を利用したエピタキシャル成長技術**
rh-ITOはサファイア基板と同じ結晶構造のため、サファイア基板上に形成が可能。そのため、LED用のサファイア基板がそのまま利用できる。しかしながら、格子不整合が大きいいため、同じ結晶構造の緩衝層を利用し、rh-ITOの形成を可能とした。緩衝層もミストCVDで形成が可能である。



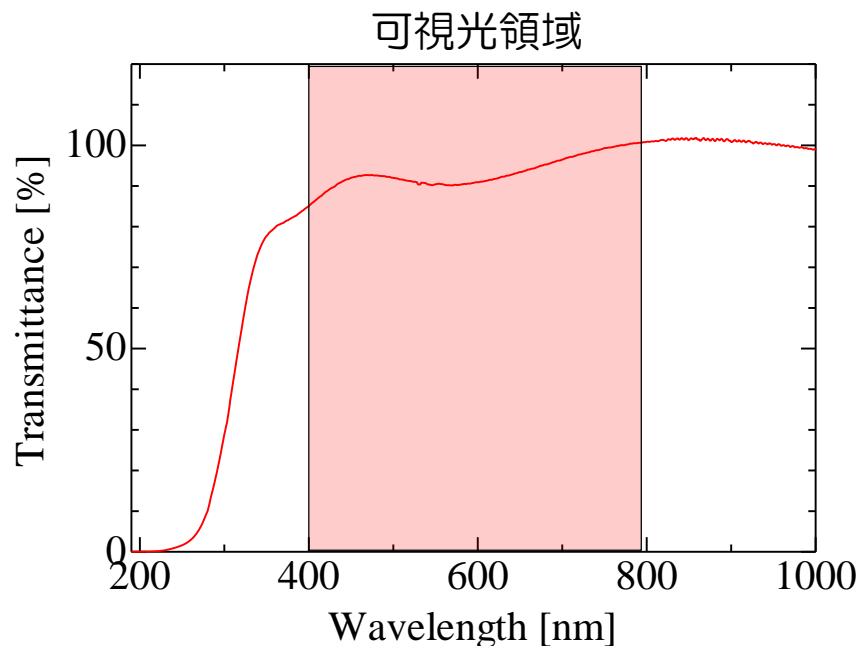
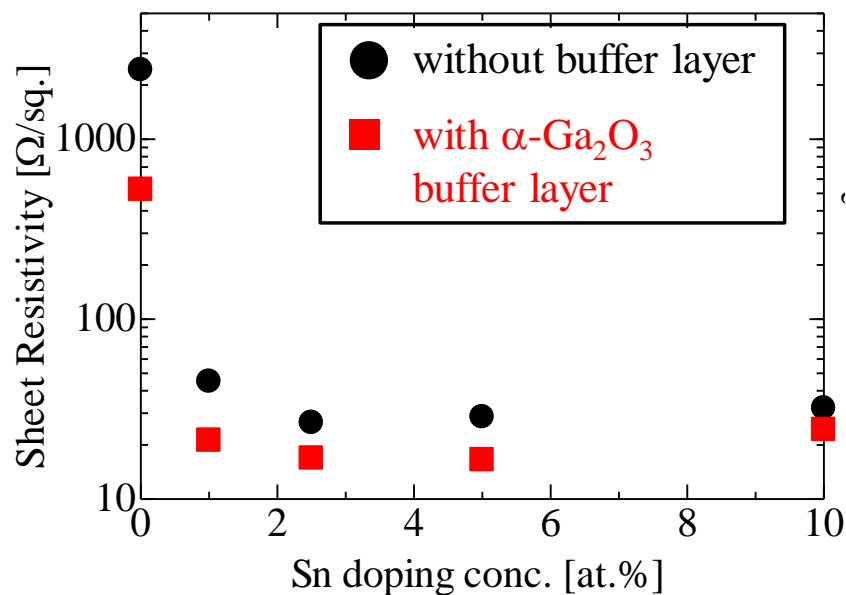
菱面体晶構造

	材料	格子定数(Å)	格子不整合(%)
基板	サファイア	4.754	0
エピ層	rh-ITO	5.487	15.4
緩衝層	α -Fe ₂ O ₃	5.053	6.3
緩衝層	α -Ga ₂ O ₃	4.979	4.7



rh-ITOの形成

- rh-ITOのエピタキシャル成長に成功
- 水の高圧状態により、バッファ層なしでもrh-ITOが形成されている



rh-ITOの形成

- rh-ITO膜はSnドーピングにより低抵抗化が可能
キャリア密度： 10^{20}cm^{-3} 後半まで実績あり
- 可視光領域で高い透明性を有する

- ・ミストCVD装置は自作装置であり、装置の安定性、量産性などの検討がほとんどない
- ・rh-ITO上へのGaNの形成技術開発
- ・rh-ITOの熱・雰囲気安定性の検証

- rh-ITO上へのGaNの形成技術開発
- ミストCVD法の装置開発
- ミストCVD法その他金属酸化物の適用

発明の名称:

基体、発光素子および基体の製造方法

- 出願番号: 特願2015-221683
- 出願人: 国立大学法人京都工芸繊維大学
- 発明者: 西中 浩之、吉本 昌広

京都工芸繊維大学 研究戦略推進本部 知的財産室 (研究推進課 知的財産係)

tel. 075-724-7039 / fax. 075-724-7030

e-mail chizai@kit.ac.jp

<http://www.liaison.kit.ac.jp/>

<http://www.ipo.kit.ac.jp/>