

# スパッタリング法を用いた高品質 窒化物半導体素子の製造方法

東京大学生産技術研究所  
教授 藤岡洋

令和2年12月22日

# 新技術の概要(背景)

## GaN等窒化物半導体の特徴

- 高い性能  
(高電子速度、高耐圧、高発光効率)
- 耐薬品性能
- 耐環境性能
- 生体適合性
- 耐欠陥性能



## 多彩な応用

- LED (青緑紫外)、レーザ、表示素子、光量子素子
- 高速通信素子、量子コンピュータ
- パワーエレクトロニクス
- 太陽光水素生成、人工光合成
- 耐環境センサ、生体センサ
- 動植物の成長制御、治療



<https://www.rakugaki.co.jp>

# 新技術の概要

従来技術:

MOCVD (1100 °C)



<http://www.aixtron.com>

低スループット  
高装置コスト  
高ランニングコスト

新技術:

Pulsed sputtering deposition, PSD (低温)



## PSD法の利点

- (1) 低温成長
- (2) 低温における高速成長: 10  $\mu\text{m}/\text{h}$
- (3) 水素フリーな反応系  $\Rightarrow$  アニールなしでp型活性化  
炭素フリーな反応系  $\Rightarrow$  膜中の低炭素濃度
- (4) 高品質N極性成長

# 新技術の概要

- 従来高い温度での熱分解反応を利用して作製してきた窒化物半導体素子を、スパッタリング法を用いて低コストかつ低温で実現
- 低温・非平衡下での成長技術を利用することによって、従来手法で作製されたものより優れた電気特性や素子特性を実現

従来技術:

MOCVD (1100 °C)



<http://www.aixtron.com>

低スループット  
高装置コスト  
高ランニングコスト

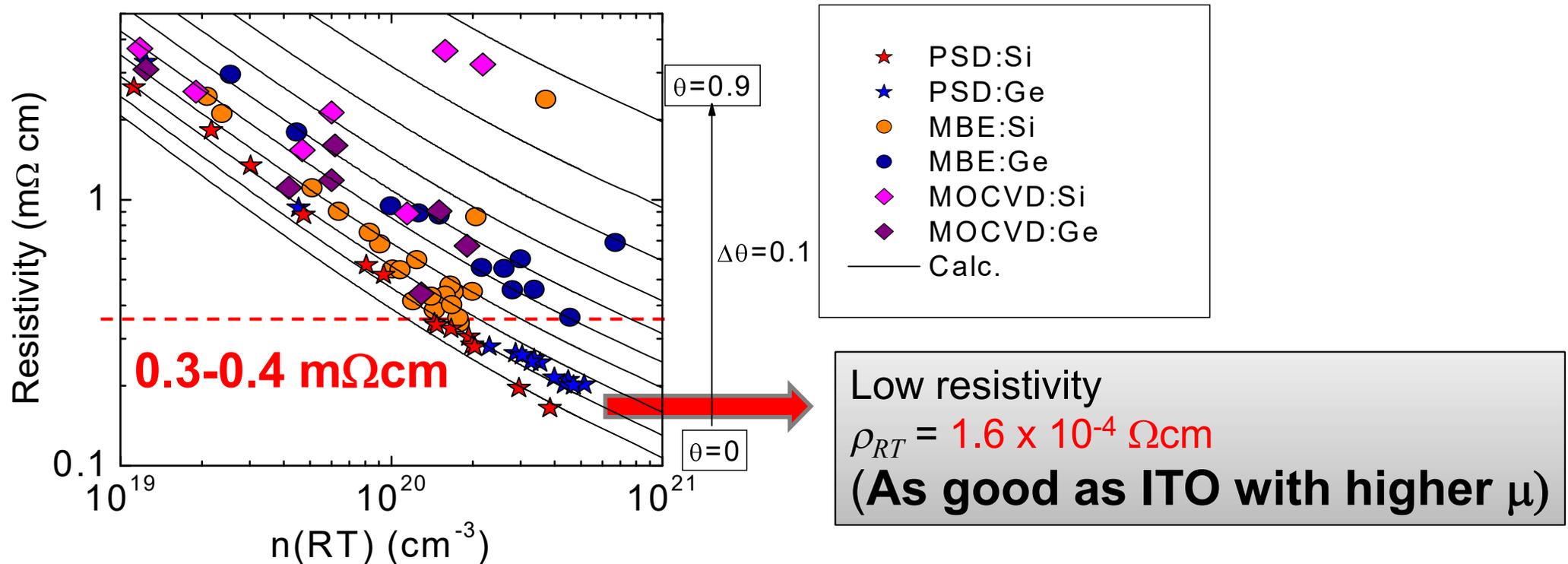
新技術:

Pulsed sputtering deposition, PSD (低温)



# 新技術の特徴・従来技術との比較

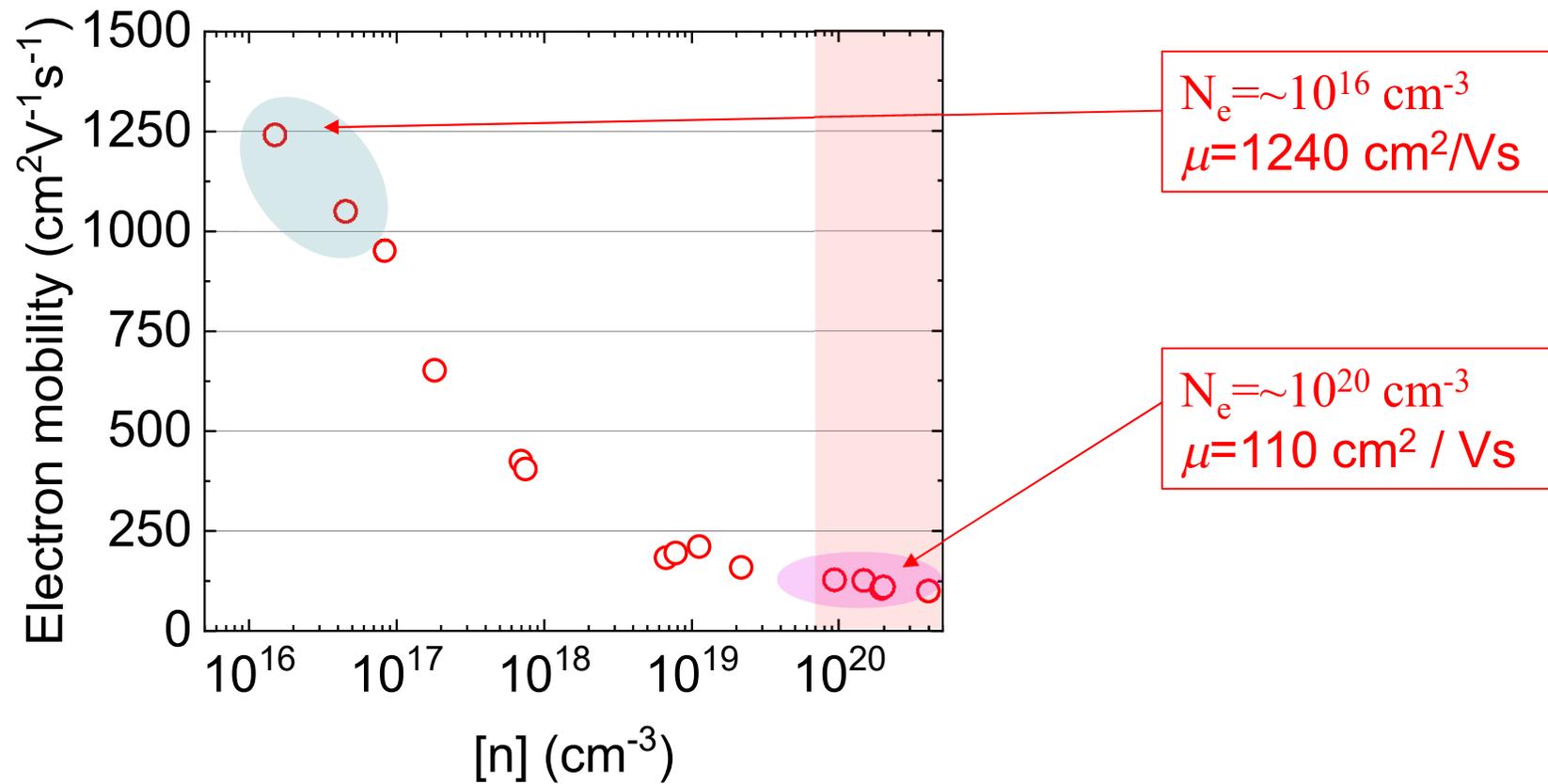
- 従来手法より低コストで素子が製造できる
- 安価なフレキシブル基板上に素子が実現できる
- 従来手法では実現できない高い物性が実現できる可能性がある



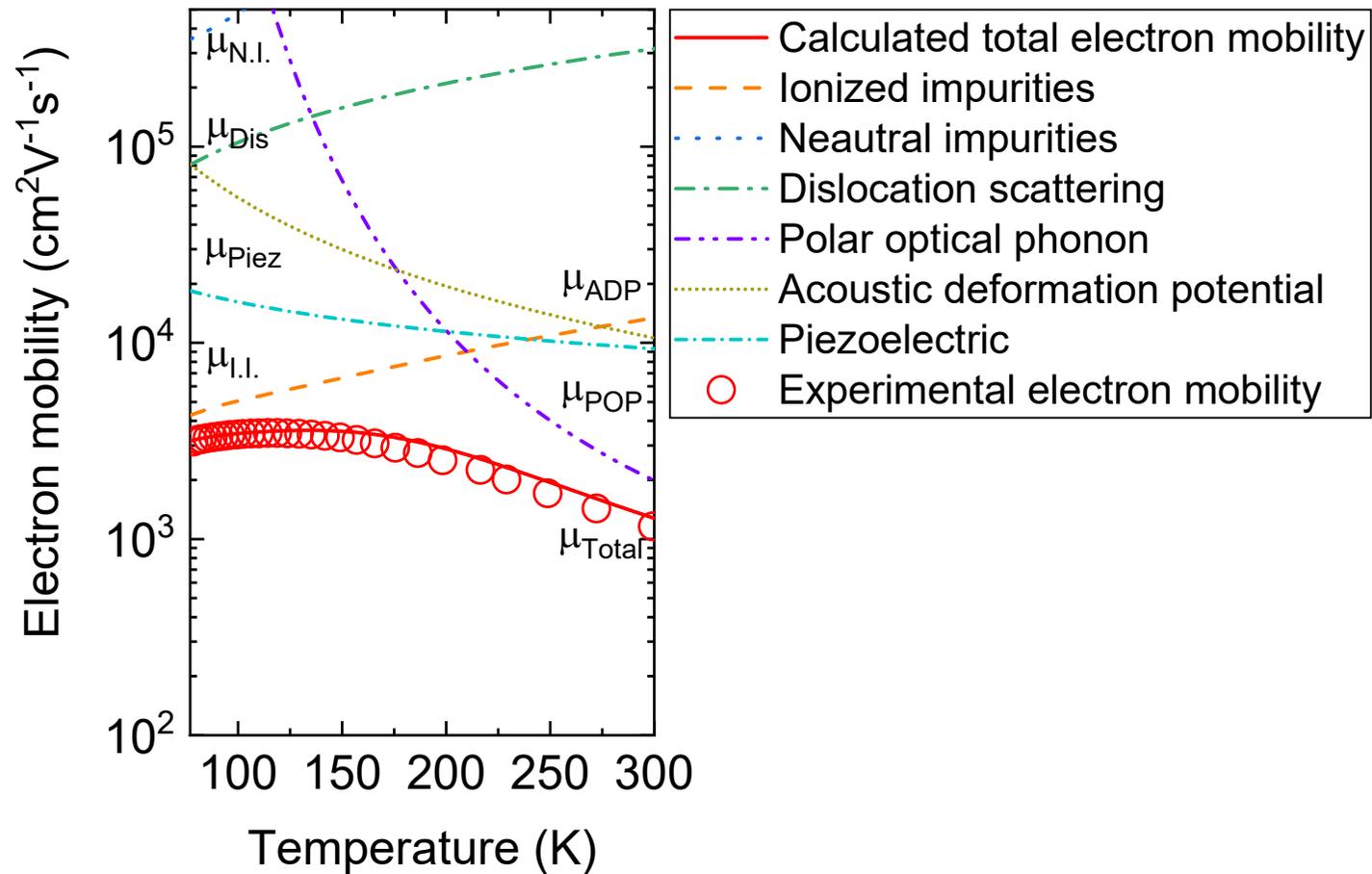
L. Lugani *et al.*, Appl. Phys. Lett. **105**, 202113 (2014).  
 E. C. Young *et al.*, Appl. Phys. Express **9**, 022102 (2016).  
 F. A. Faria *et al.*, Appl. Phys. Lett. **101**, 032109 (2012).

A. Ajay *et al.*, J. Phys. D: Appl. Phys. **49**, 445301 (2016).  
 P. R. Hageman *et al.*, J. Cryst. Growth **267**, 123 (2004).  
 I. Halidou *et al.*, Microelectron. J. **32**, 137 (2001).  
 S. Fitze *et al.*, Appl. Phys. Lett. **100**, 122104 (2012)

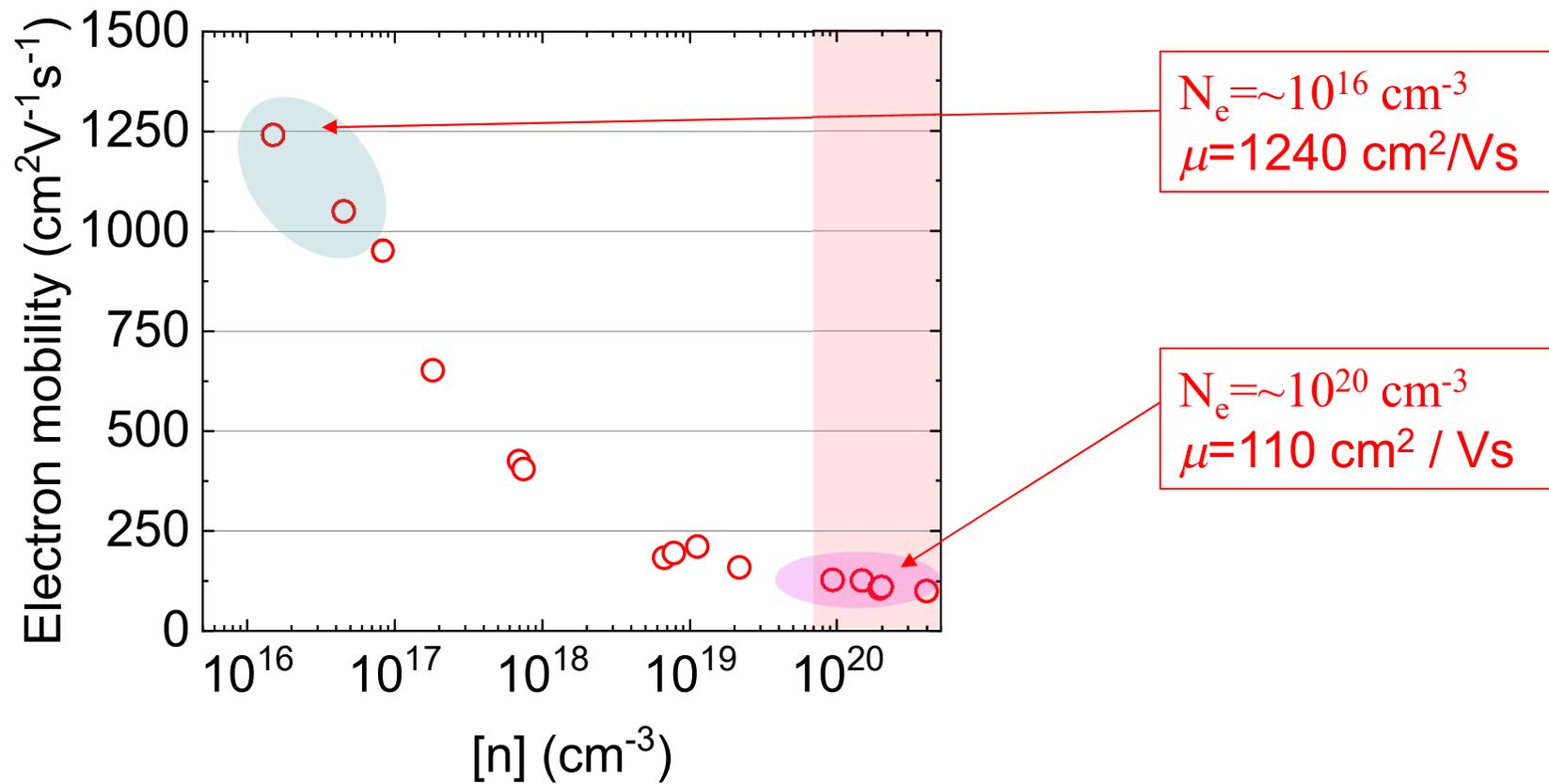
# 新技術の特徴・従来技術との比較



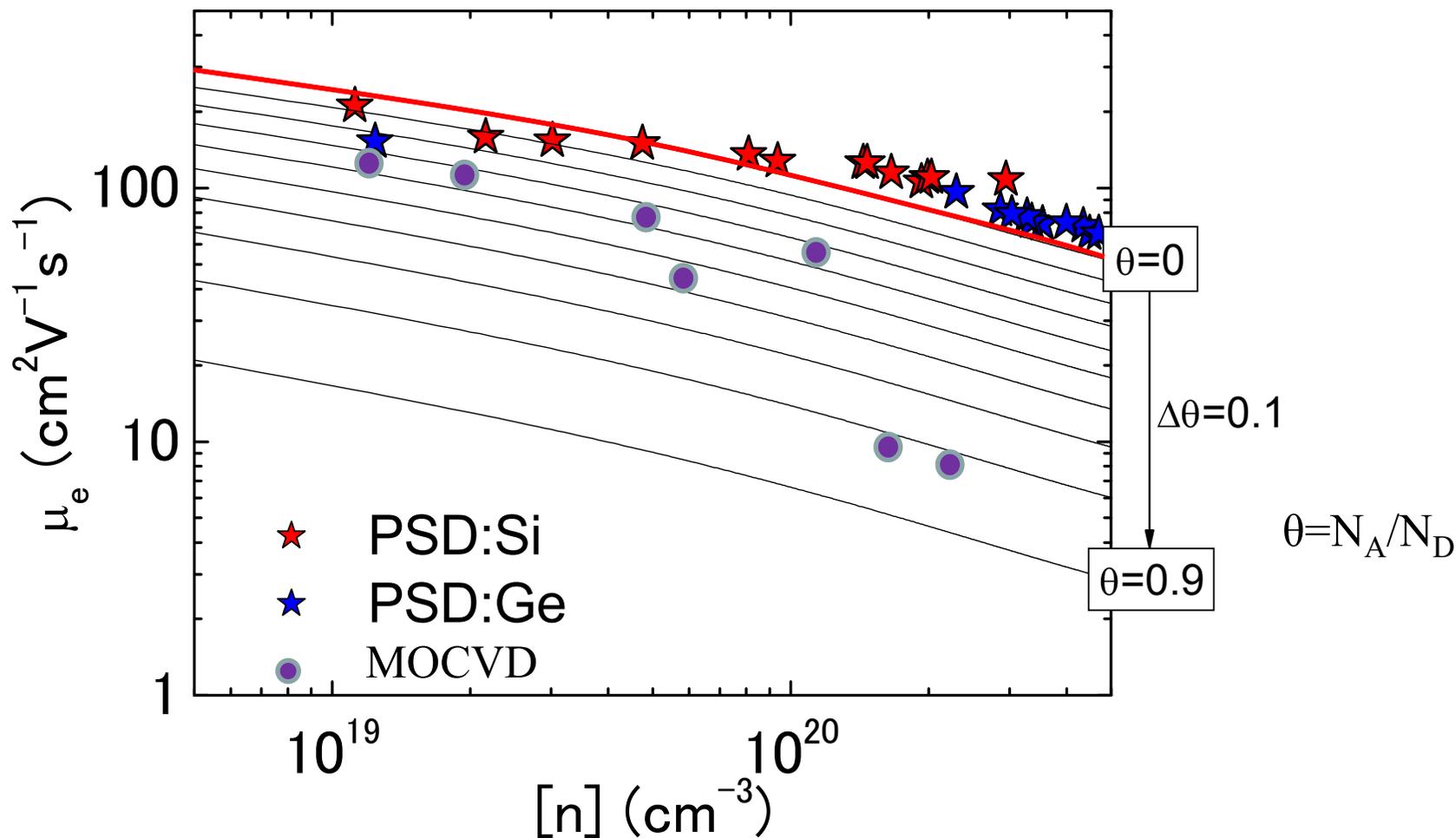
# 新技術の特徴・従来技術との比較



# 新技術の特徴・従来技術との比較



# 新技術の特徴・従来技術との比較



# 従来技術による素子とその問題点

## 薄膜トランジスタ

従来技術では、酸化物やアモルファスSiで作製されているが、

- ・材料の性質上、電子の移動度が低い
- ・p型のチャネル層の作製が困難(酸化物)

等の問題があり、高精細マイクロLEDディスプレイ等高密度電流を必要とする素子に利用することができない。

## 窒化物発光素子/パワー素子

従来技術では、熱平衡に近い条件で窒化物半導体が合成されるため、高濃度の不純物導入ができなかった。このため、窒化物半導体の抵抗値が高く、素子性能が著しく制限されていた。また、他の半導体材料ではよく利用されるトンネル接合やカスケード構造の実現が難しかった。さらに、赤色の発光を可能とする高濃度のIn添加が困難であり、ディスプレイの基本構造である3原色のLEDアレイの試作が難しかった。

# 従来技術によるマイクロLEDディスプレイとその問題点

	ピック&プレース工程 (Chiplet)	モノリシック工程
	<p>Wafer scale RGB microLED on CMOS integration</p> <p>Transfer</p> <p>Substrate</p> <p>RGB microLEDs</p> <p>Driving circuit</p> <p>EE Times Japan, Leti</p>	<p><a href="https://www.led-professional.com">https://www.led-professional.com</a></p>
<p>長所</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 枯れた技術</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 液晶や有機ELとのプロセス整合性</li> </ul>
<p>短所</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 極めて高い製造コスト</li> </ul> <p><b>146" The Wall Professional</b> <b>US\$ 400,000</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 高い製造コスト</li> <li>1.MOCVD と 2.単結晶基板</li> <li>・ 高温プロセス(1100℃)</li> <li>・ 赤LED、高濃度ドーピングによるトンネル接合</li> </ul>

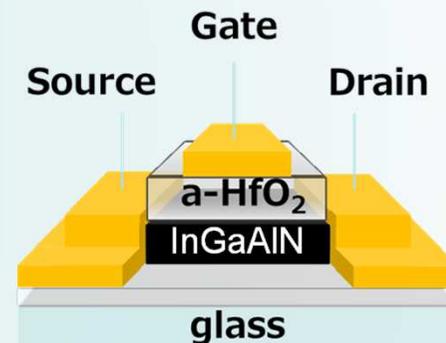
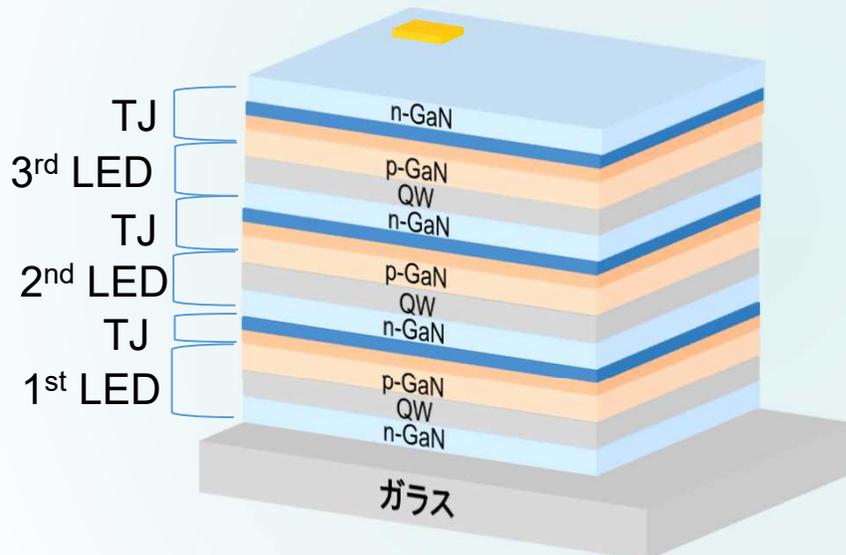
1. MOCVD ⇒ 低温Pulsed Sputtering (PSD)

2. 単結晶ウェハー⇒ 安価な基板, 例えば ガラス or 金属フォイル

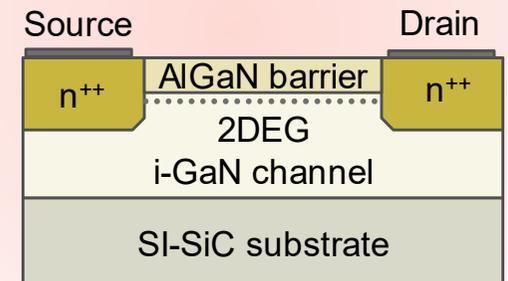
# 想定される用途

- マイクロLEDディスプレイやその制御素子
- パワーエレクトロニクス
- 照明用や殺菌用の発光素子

## カスケードマイクロLED



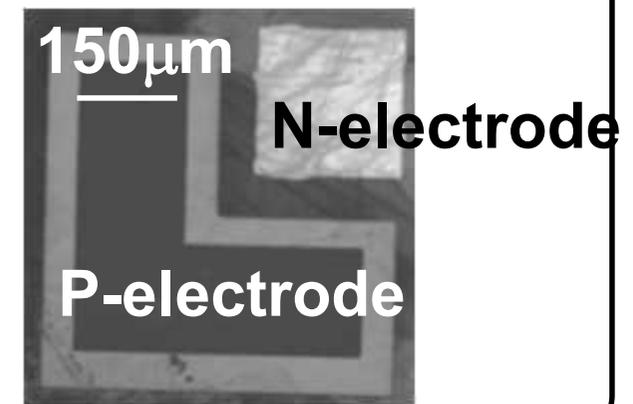
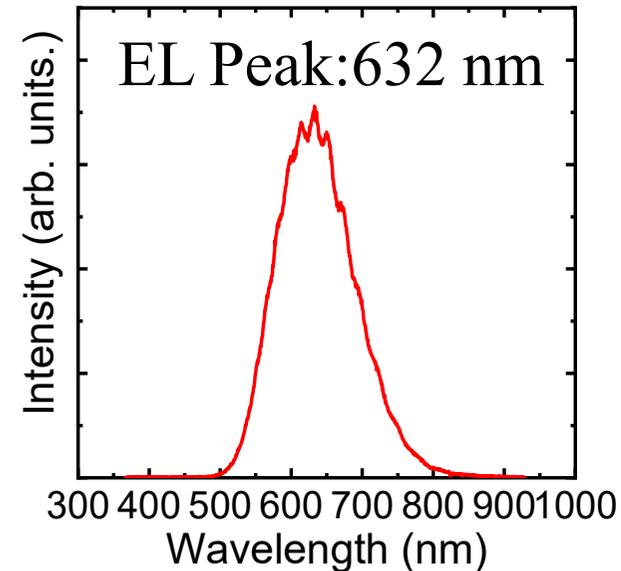
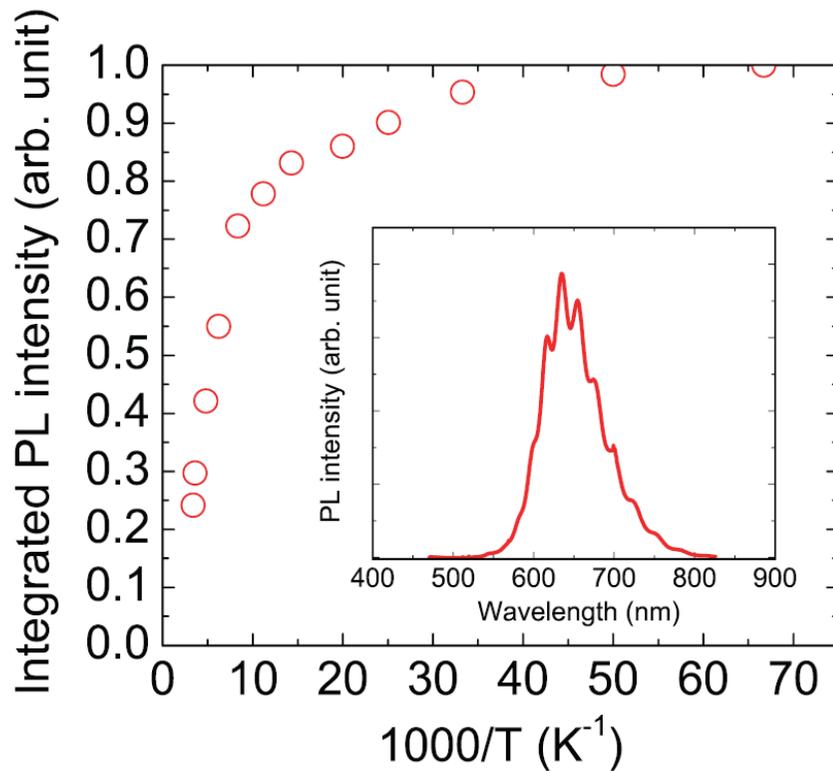
## パワーエレクトロニクス Stacked S/D HEMTs



# 低温(480°C)でのLED作製

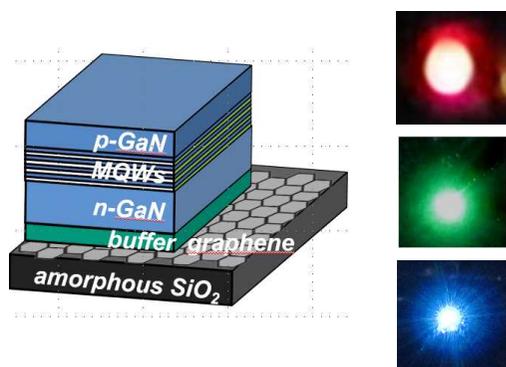
A PSD-LED prepared at a maximum temperature of **480°C**

Temperature dependence of PL intensity

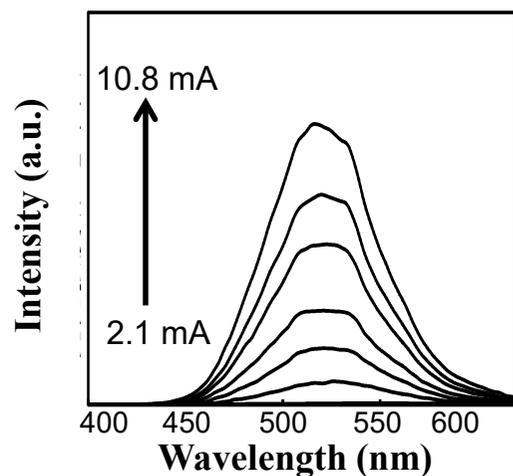


# 低コスト基板上3原色LED

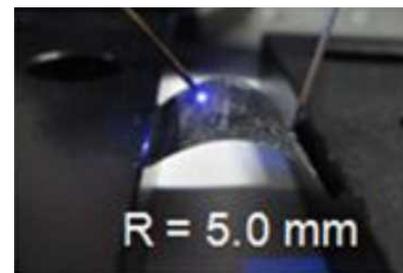
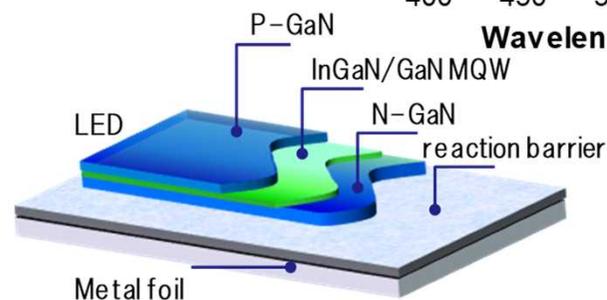
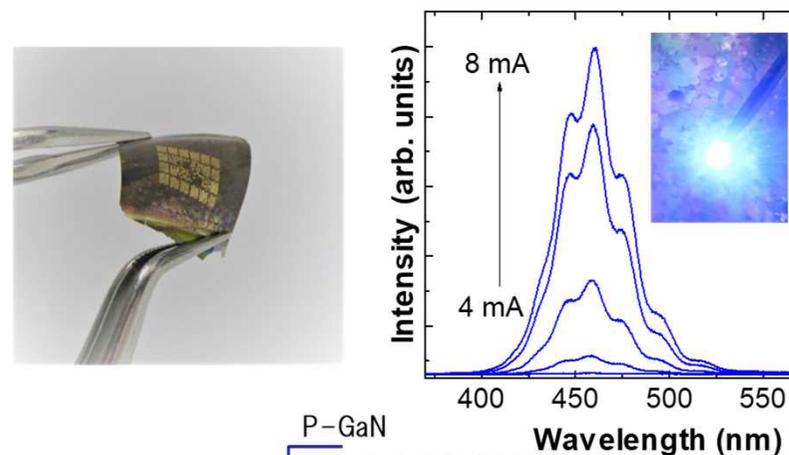
## ガラス基板上



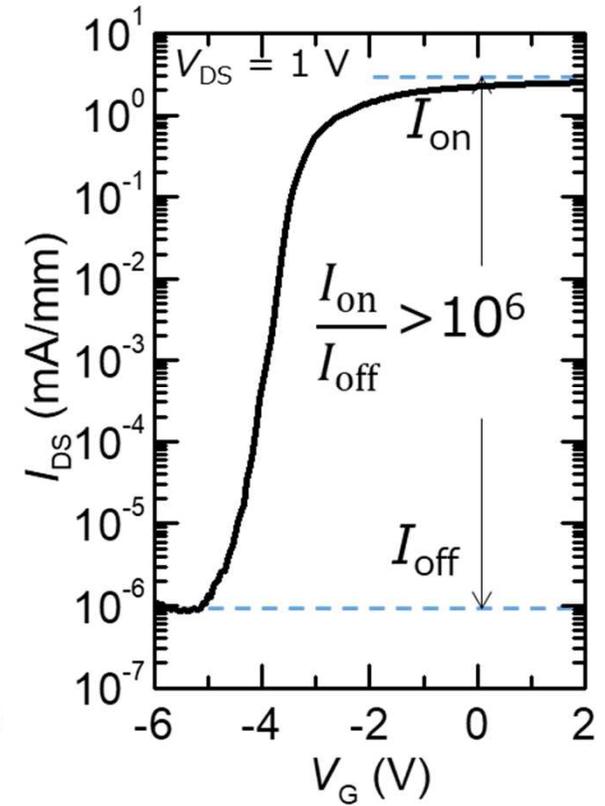
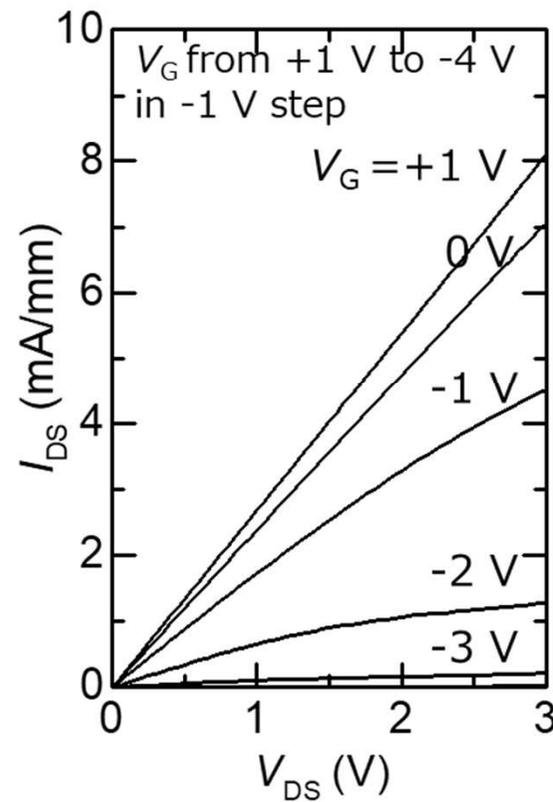
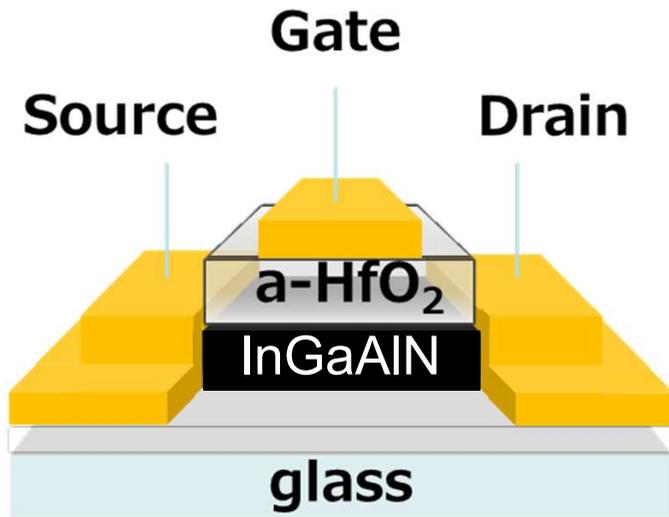
EL spectra of a green LED



## 金属フォイル上



# ガラス上窒化物薄膜トランジスタ



- オンオフ比  $> 10^6$
- 最大電流密度  $\sim 10$  mA/mm

## 実用化に向けた課題

- 発光素子関連では、現在、マイクロLEDディスプレイを作製するには、赤色の発光効率が十分でないので、改良を重ねている。また、ディスプレイ作製に必要な積層カスケード作製プロセスを開発中である。
- 薄膜トランジスタ関係では絶縁膜などの素子作製プロセスの再現性などを検討中である。

## 企業への期待

- 本技術の持つ、低温低コストで高品質な窒化物半導体を基板にこだわらずに合成できるという特徴は、例として挙げたマイクロLED分野以外の多くの分野で利用可能と考える。民間企業の皆様より、新しい応用分野についての提案をいただき、共同研究をさせていただければありがたい。

# 本技術に関する知的財産権

- 1) 【発明の名称】 : InGaAlN系半導体素子  
 【出願番号】 : PCT/JP2014/004419 (日・欧・中 登録済 ; 米・韓 移行済)  
 TW/ 103129786 (登録済)  
 【出願人】 : 国立研究開発法人科学技術振興機構  
 【発明者】 : 藤岡 洋、小林 篤
  
- 2) 【発明の名称】 : 化合物半導体、コンタクト構造、半導体素子、  
 透明電極、化合物半導体の製造方法及びスパッタガン  
 【出願番号】 : PCT/JP2018/021122 (日 登録済 ; 米・韓・印 移行済)  
 TW/107118992  
 【出願人】 : 国立研究開発法人科学技術振興機構  
 【発明者】 : 藤岡 洋、上野耕平
  
- 3) 【発明の名称】 : 窒化物半導体及びその製造方法  
 【出願番号】 : PCT/JP2017/020513 (日 登録済 ; 米・欧・中・韓・印 移行済)  
 TW/106118290  
 【出願人】 : 国立研究開発法人科学技術振興機構  
 【発明者】 : 藤岡 洋、上野耕平

# お問い合わせ先

国立研究開発法人科学技術振興機構

知的財産マネジメント推進部 知財集約・活用グループ

TEL 03-5214-8486

e-mail [license@jst.go.jp](mailto:license@jst.go.jp)