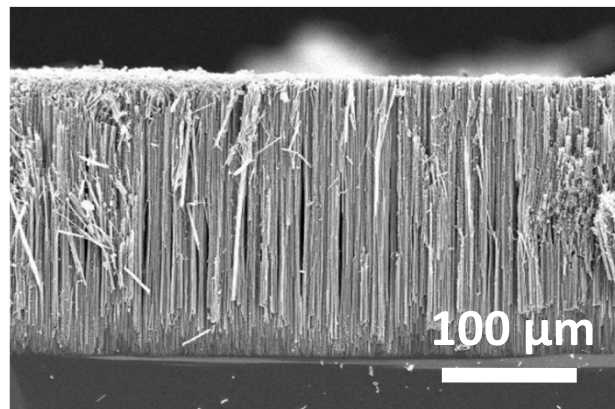


1.1 マイクロ・ナノ規則性構造材料の創成

電子デバイス応用に向けた アノードエッチングGaAsナノワイヤの 表面構造評価

工学院大学 総合研究所
相川 慎也

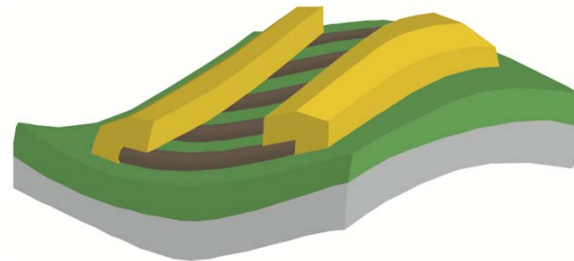
材料創成



提供



デバイス応用



連携



他の
テーマ

本日のメニュー

①背景

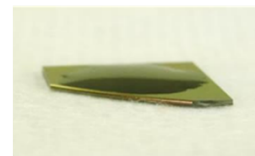
なぜ溶液プロセスか？

②目的

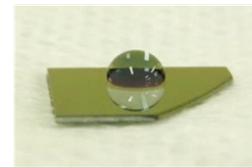
③研究計画

④本年度の成果

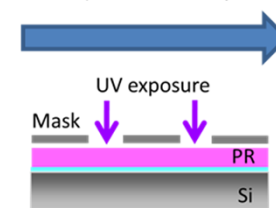
- ・ 親水/疎水パターニング



疎水化

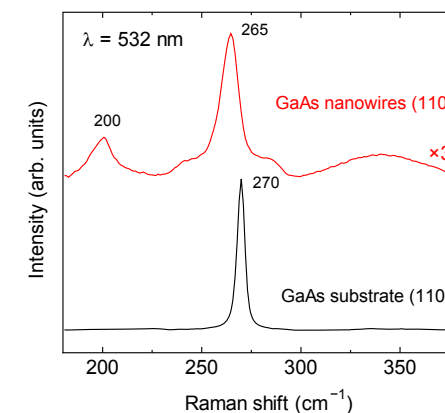
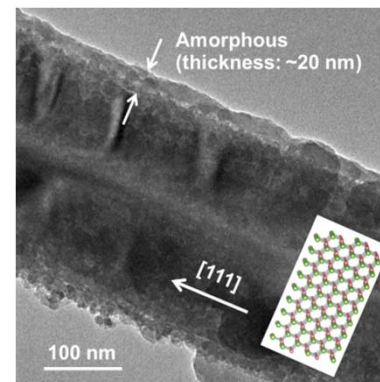


パターニング



- ・ デバイス試作・評価
- ・ GaAs NW表面の評価

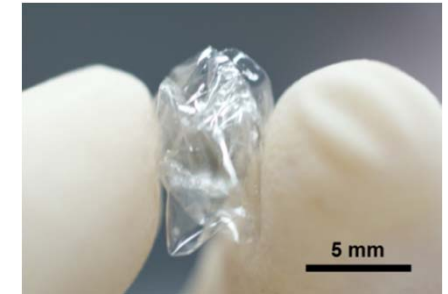
- ・ 課題
- ・ まとめ



背景

近年、半導体工場の省エネを促進する新規なデバイス作製法として、溶液ベースの半導体デバイス開発が注目

Extremely flexible carbon-based transistors



S. Aikawa, et al.
Appl. Phys. Lett. **100**, 063502 (2012).

溶液プロセスのメリット

室温形成が可能

熱処理工程の簡略化

大幅な省エネ効果

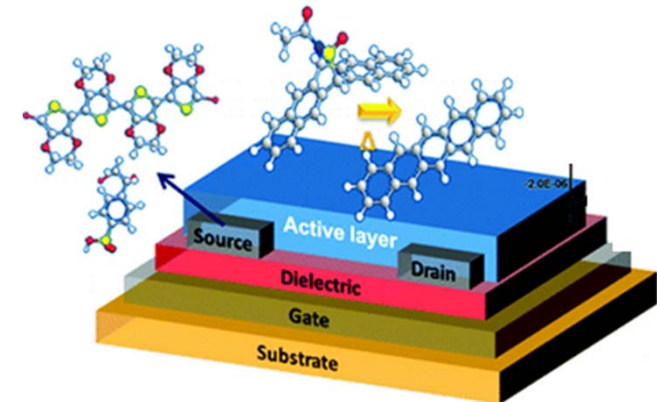
熱可塑性材料の使用

従来材料の問題点

デバイスの性能が低い ($\mu_{FE} < 1 \text{ cm}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$)

高特性の半導体材料を用いた溶液プロセス可能な高性能機能電子デバイスの開発が切望

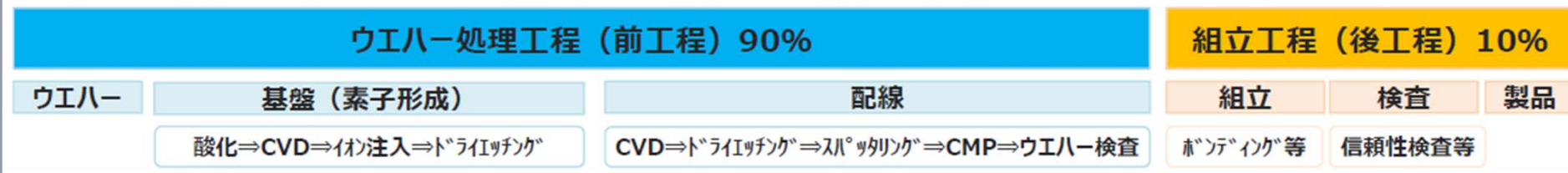
Solution-processable organic semiconductors



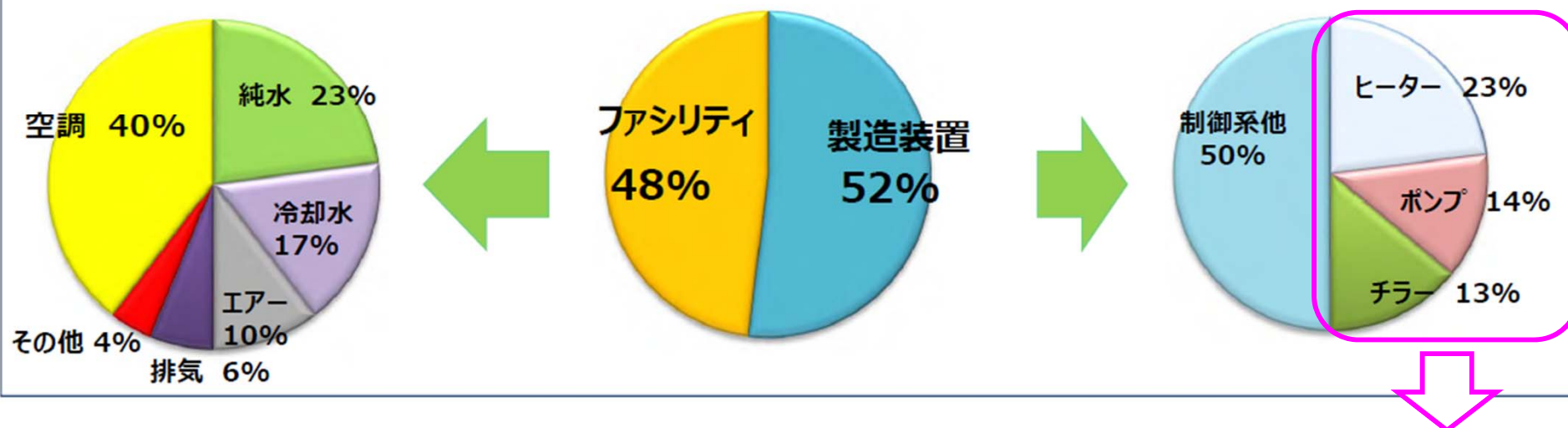
A. Luzio, et al. Chem. Mater. **23**, 1061 (2011).

11. 省エネ取組み事例 生産プロセスデバイス分野①

■ 半導体製造工程フローとエネルギー消費比率（前工程；90%、後工程；10%）



■ 半導体製造のエネルギー消費比率（製造装置；52%、ファシリティ；48%）



真空系，加熱/冷却が不要な
溶液プロセスの実現で全体の
25%以上省エネが可能

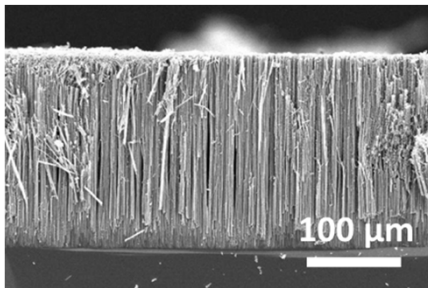
目的

アノードエッチングにより形成された高特性ナノ構造半導体材料を用いて、高性能な機能電子デバイスを開発

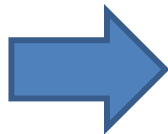
テーマ内外での連携

テーマ 1.1 マイクロ・ナノ規則性構造材料の創成

アノードエッチング GaAs NW

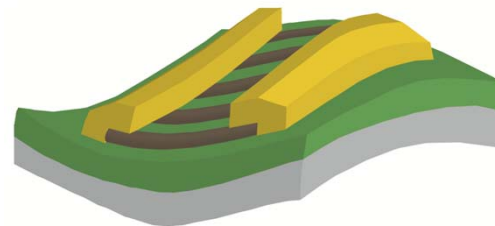


小野先生, 阿相先生



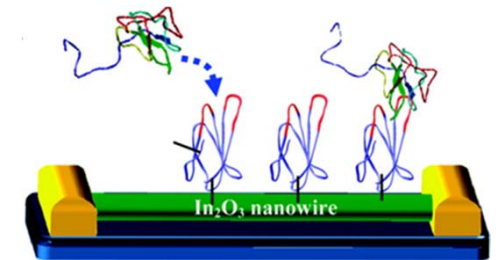
材料
提供

溶液プロセスによるデバイス
作製, および素子特性評価



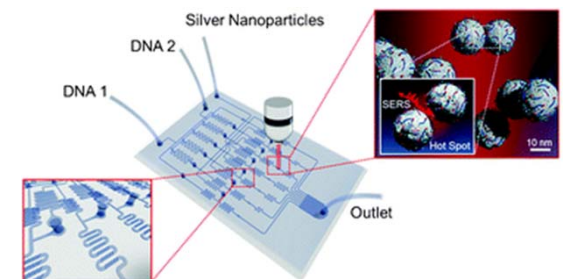
相川

バイオセンサー応用



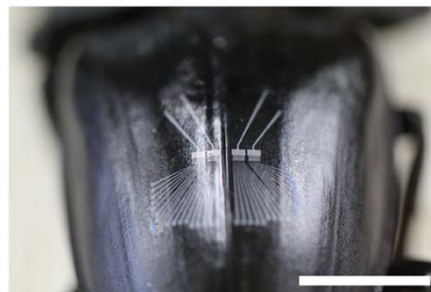
F. N. Ishikawa, *et al.*
ACS Nano, **3**, 1219 (2009).

親水/疎水マイクロ流路



N. Choi, *et al.*
Lab Chip, **12**, 5160 (2012).

センサーデバイスとして
マイクロロボットへの搭載



K. Lee, *et al.* Nano Lett. **14**, 2647 (2014).

研究計画

1年目

H26年度

デバイス作製と評価に向けて



作製条件の検討, 材料の基礎評価
電気特性評価装置の立ち上げ

2年目

H27年度

系統的な素子作製と特性評価



分散液濃度, コンタクト金属の仕事関数
→ キャリア注入効率を中心に

3年目

H28年度

機能デバイス試作



フレキシブルデバイス(プラスチック基板上への形成)
センシングデバイス(表面の機能化)

4年目

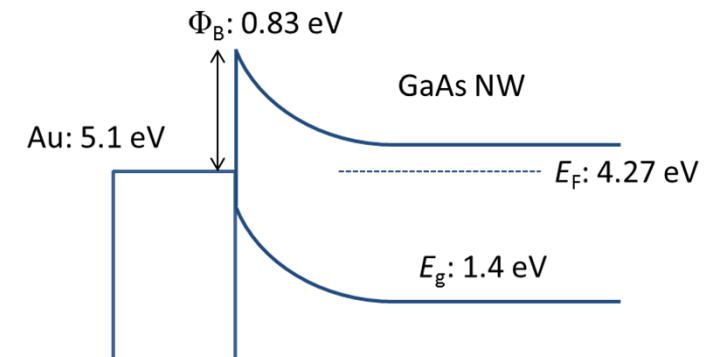
H29年度

連携, フィードバック

作製したデバイス以外にも作製工程などの手法も活用



特性評価装置



コンタクト界面のバンド図
(Schottky接合)

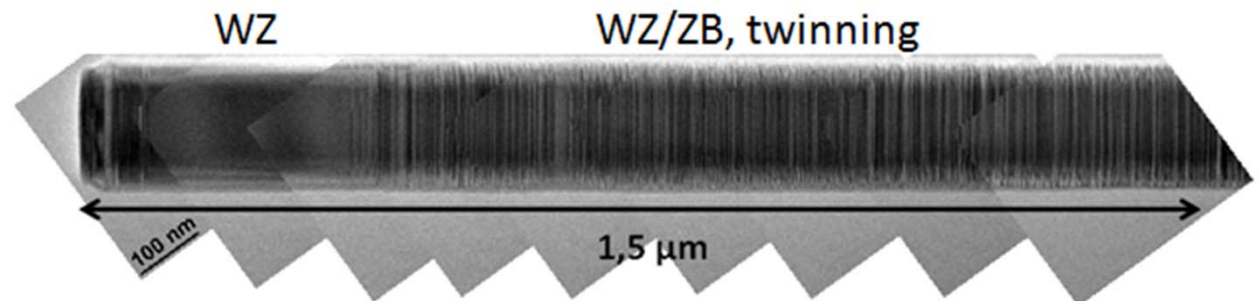
アノードエッチングGaAs NW: 3つの利点

- ① GaAsの電子移動度: $8500 \text{ cm}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$ (6 times higher than Si)

GaAs NW作製法による比較

	Molecular beam epitaxy (dry process)	Anodic etching (wet process) [3]
形成法	触媒成長 (ボトムアップ)	単結晶基板のエッチング (トップダウン)
スループット	~ 20 nm/min [1]	> 3000 nm/min
② プロセス温度	> 500 °C [1]	Room Temp.
③ 結晶構造	混晶 (Zinc blende/Wurtzite) [2]	Zinc blendeのみ? (未確認)

MBE-grown GaAs NW [2]



[1] F. Martelli, *et al.* Nano Lett. **6**, 2130 (2006).

[2] I. Zardo, *et al.* Phys. Rev. B **80**, 245324 (2009).

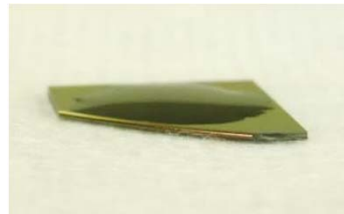
[3] H. Asoh, *et al.* Mater. Res. Express **1**, 045002 (2014).

デバイス開発に向けた本年度の成果

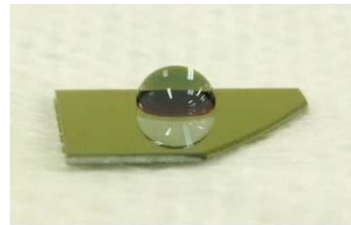
① 親水/疎水パターンの形成

→ 溶液ベースでのデバイス作製に不可欠

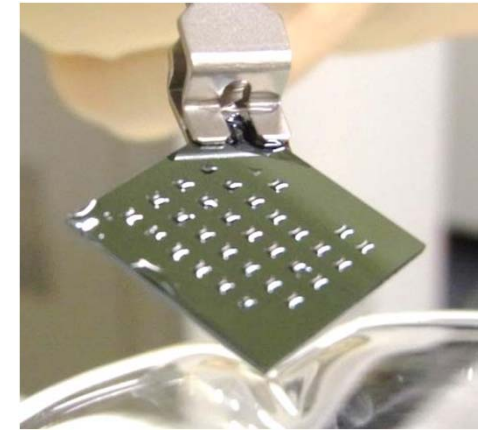
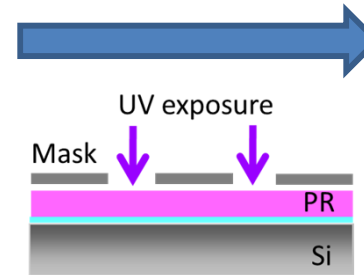
→ 親水/疎水マイクロパターンを持つ表面の形成



疎水化

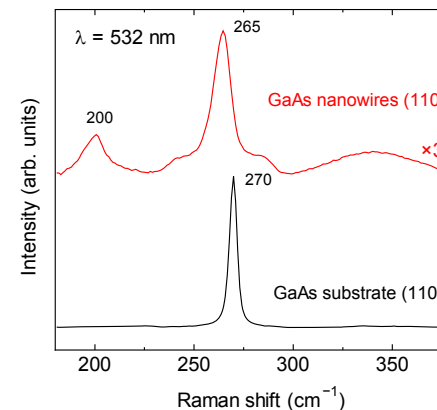
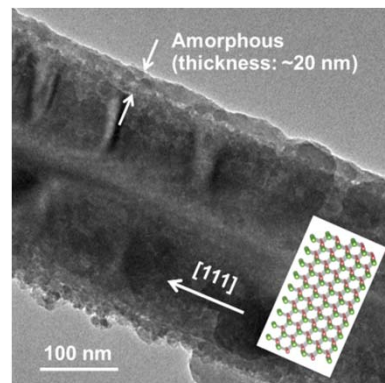


パターニング



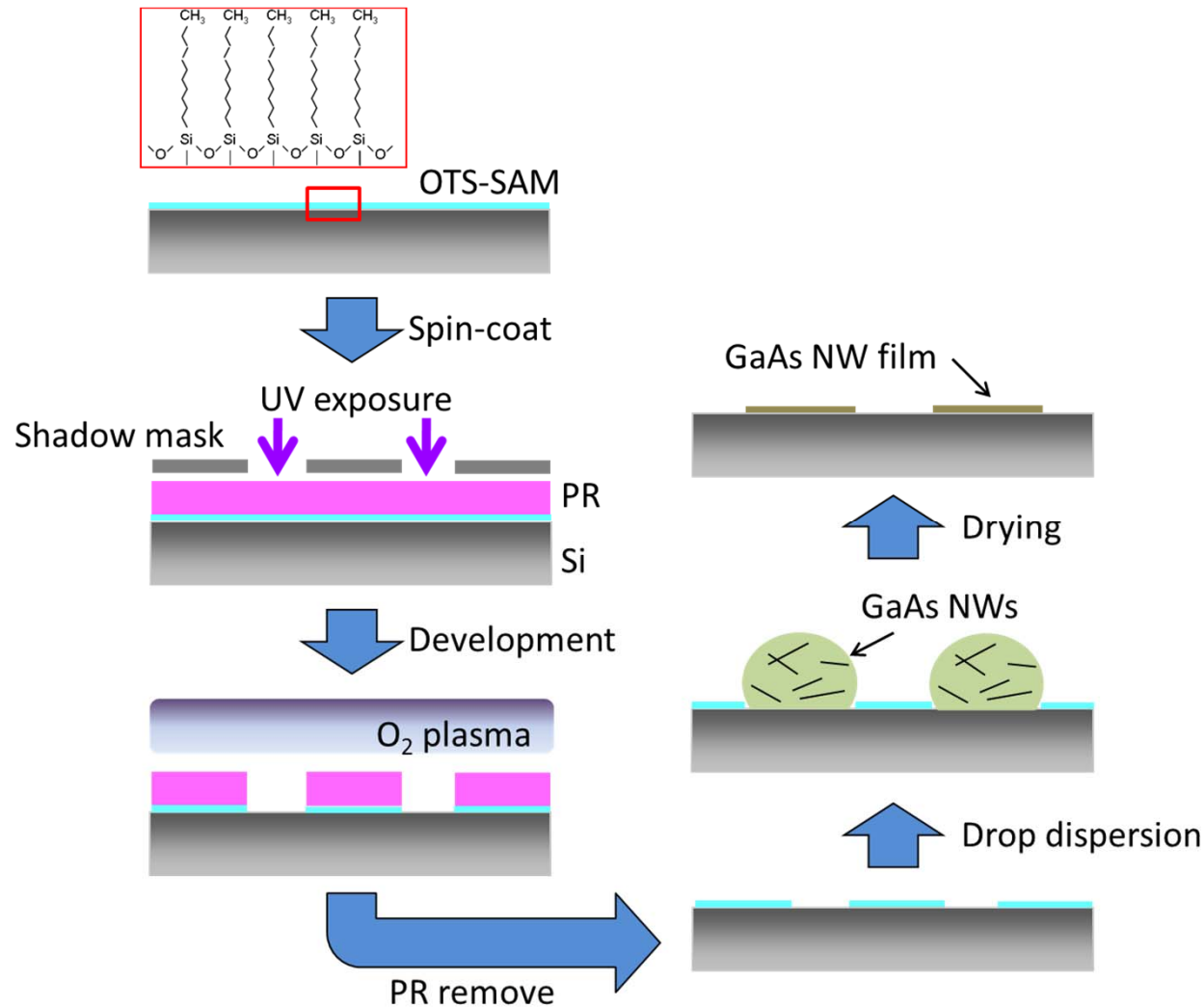
② アノードエッチング GaAs NWの表面構造評価

→ TEM観察およびRaman分光分析



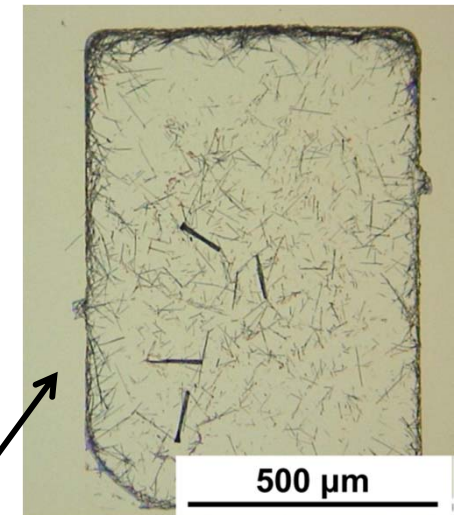
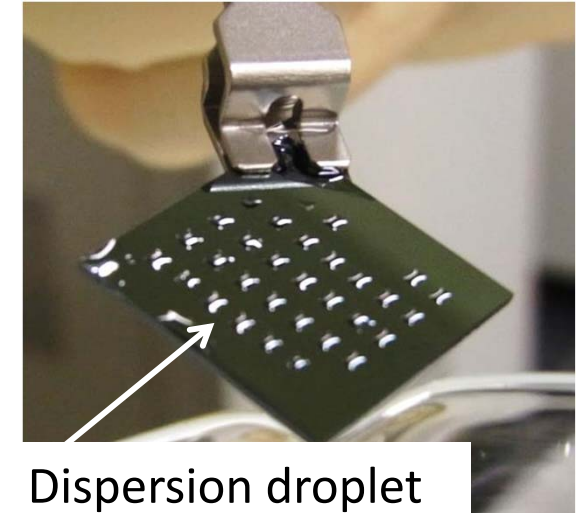
親水/疎水パターンの形成

S. Aikawa, *et al.* Nano Res. **4**, 580 (2011).



OTS: Octadecyltrichlorosilane
SAM: Self-assembled Monolayer
PR: Photoresist

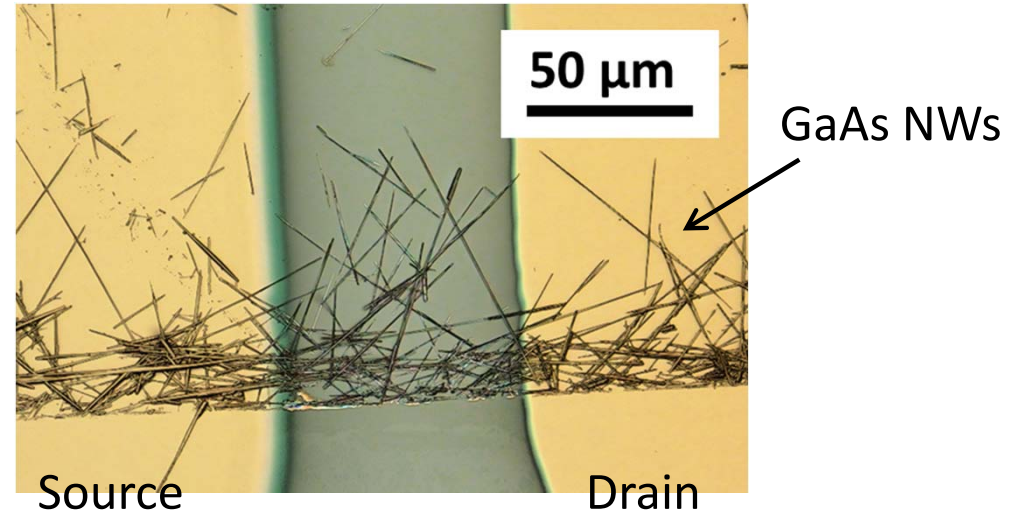
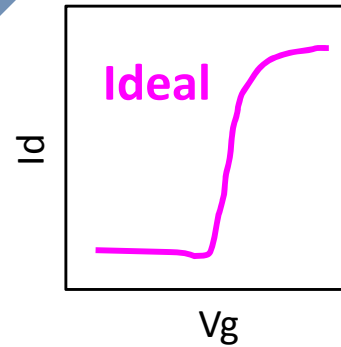
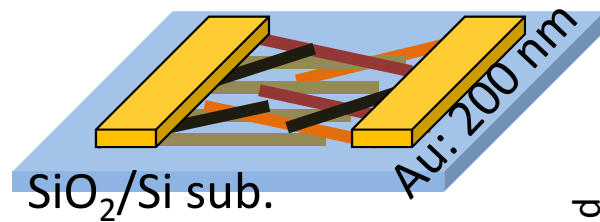
NW分散液



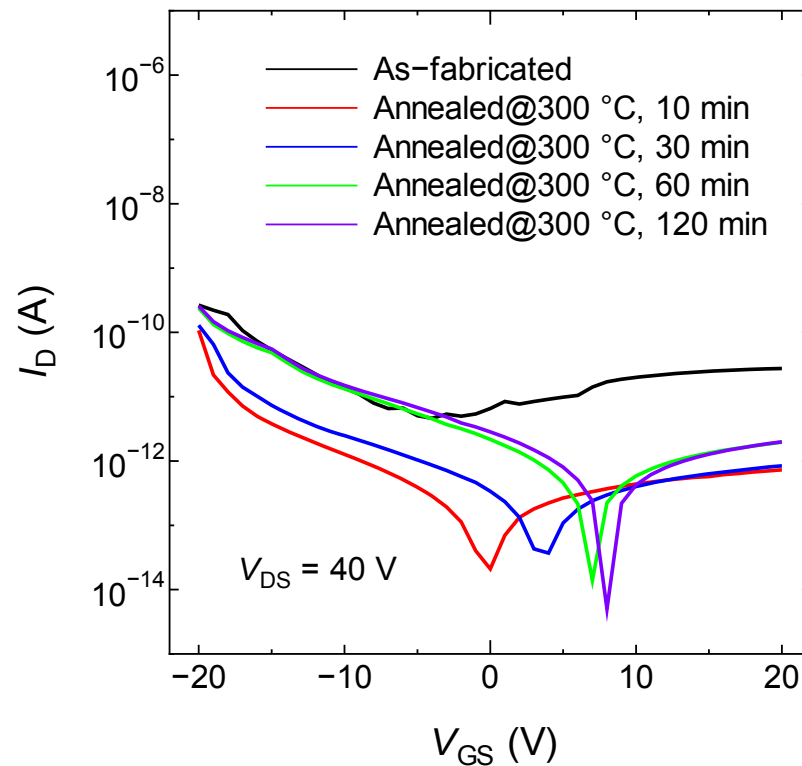
GaAs NW film

トランジスタ試作と評価 (more than 50 devices)

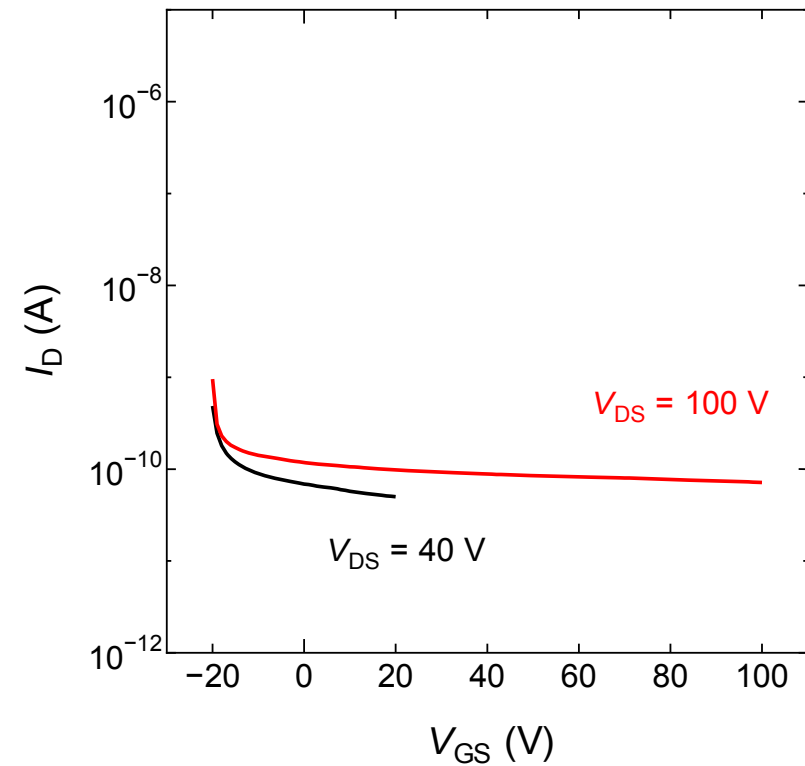
ランダムネット
ワーク



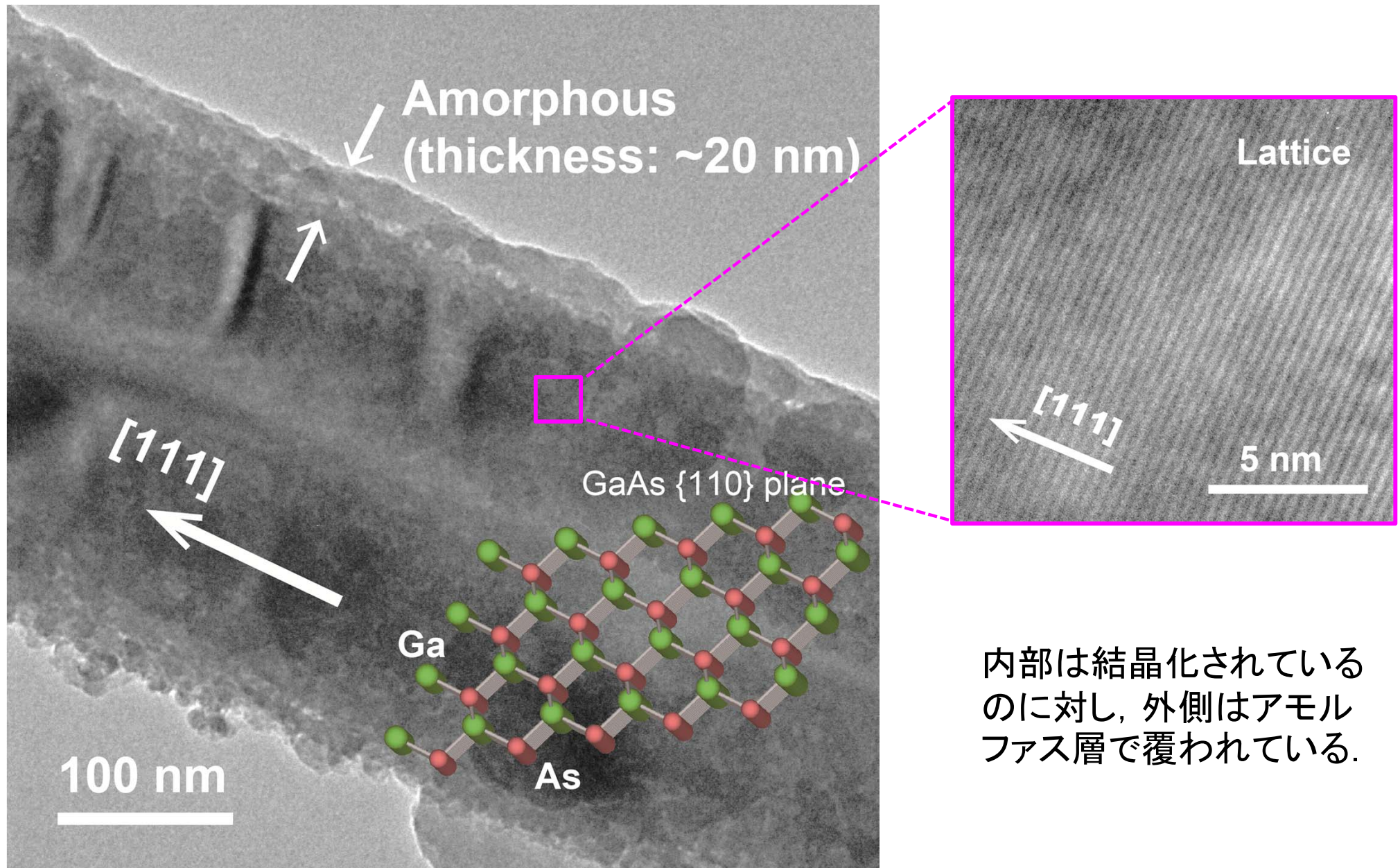
Device #1



Device #2

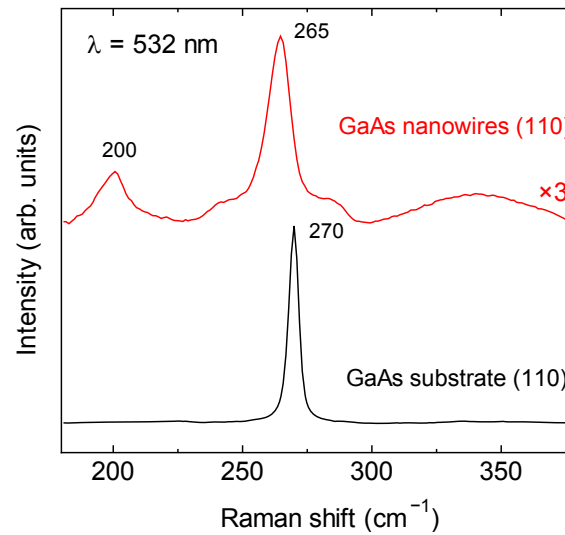
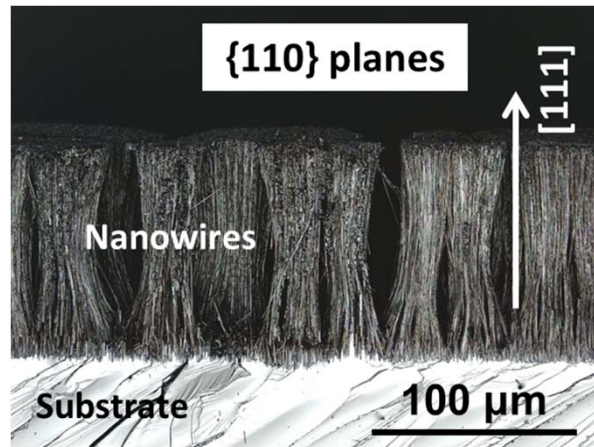


アノードエッチングGaAs NWの表面構造評価

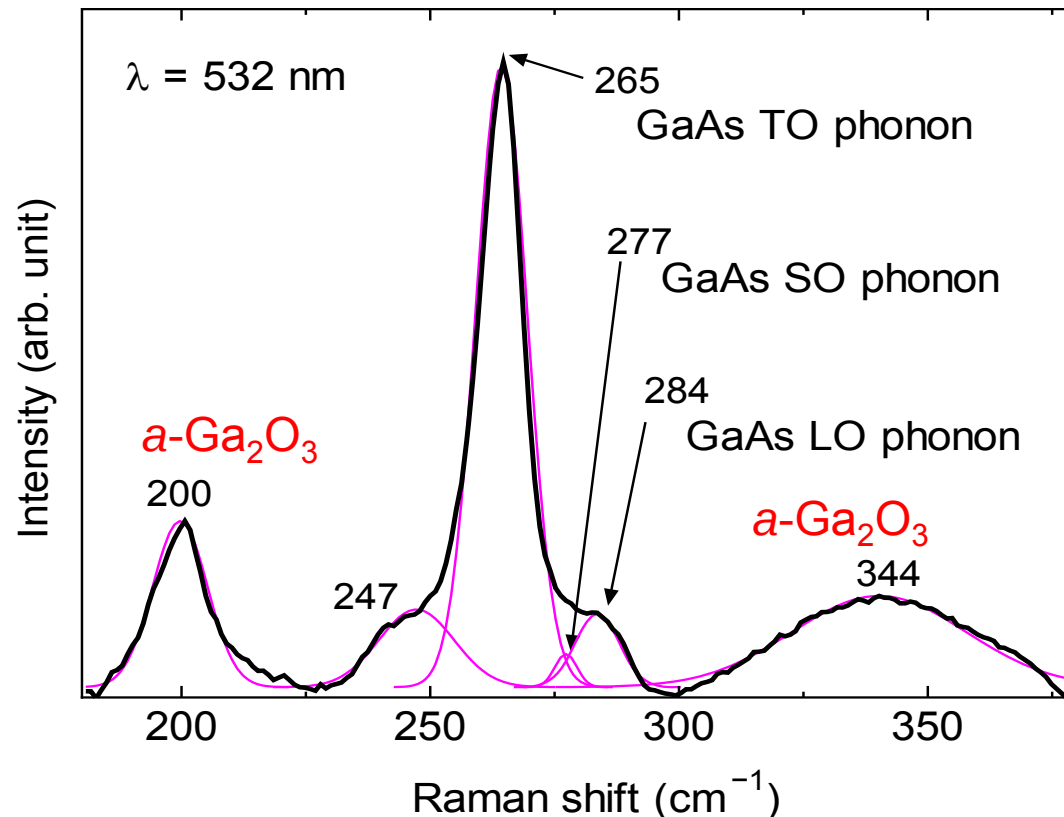


内部は結晶化されている
のに対し、外側はアモル
ファス層で覆われている。

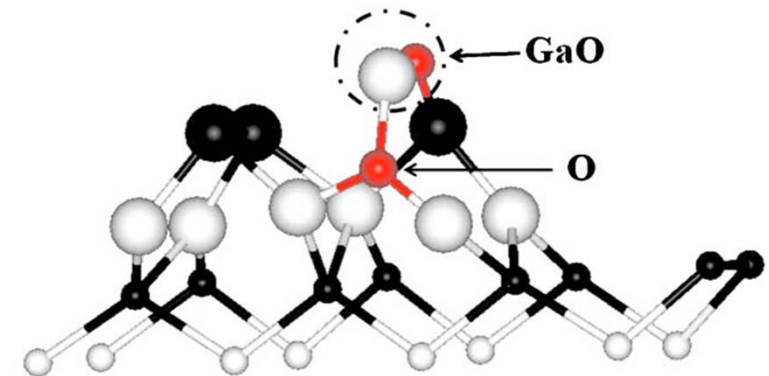
アノードエッチングGaAs NWの表面構造評価



アモルファス層は, GaO_x であることがわかった.



$\text{Ga-As} \rightarrow \text{GaO}_x, \text{AsO}_x (\text{As})$

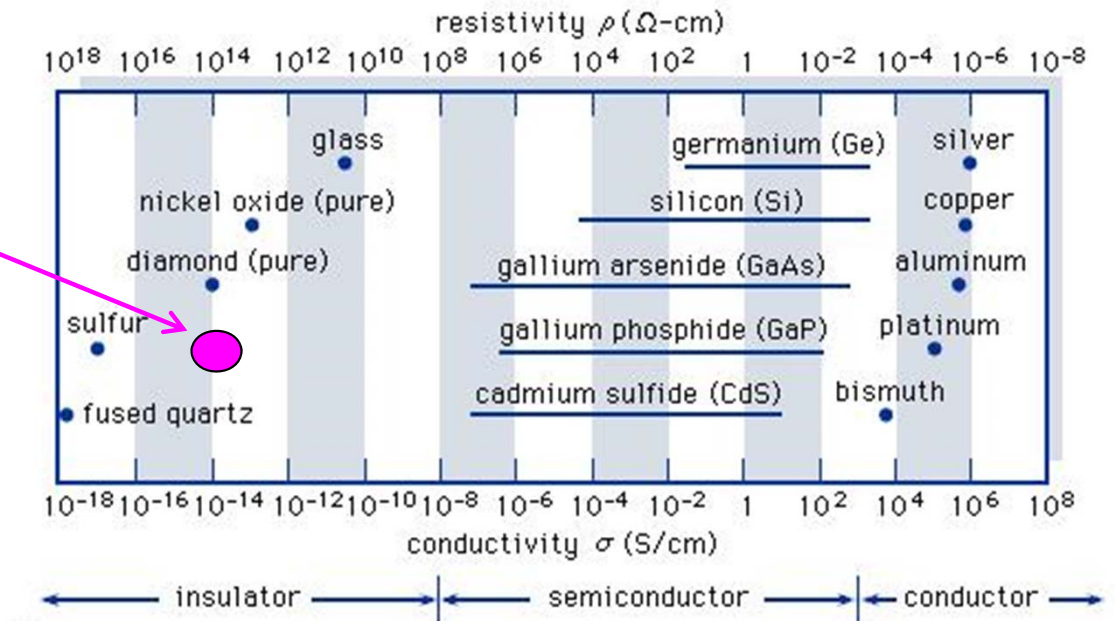


W. Wang, et al. J. Appl. Phys. **107**, 103720 (2010).

課題

Amorphous GaO_x
Resistivity: $> 10^{14} (\Omega \text{ cm})$

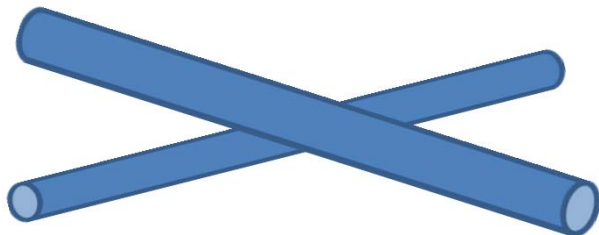
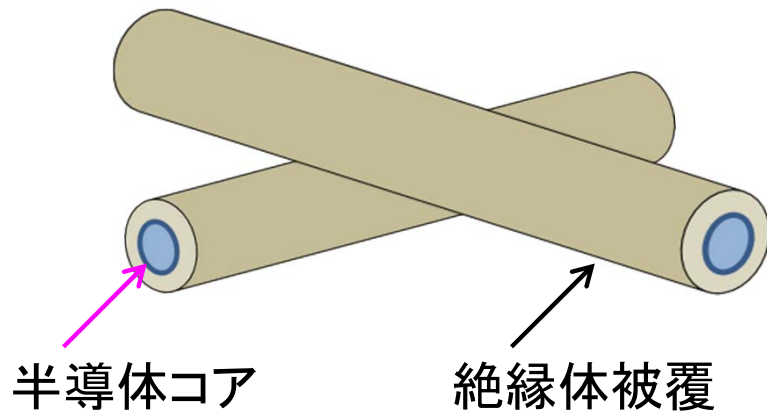
V. M. Kalygina, *et al.*
Semiconductors **45**, 1097 (2011).



© 2004 Encyclopædia Britannica, Inc.

Encyclopædia Britannica, Inc.

<http://global.britannica.com/EBchecked/topic/289459/insulator>



GaO_x wet etching:

✓ HF , NaOH

S. Ohira and N. Arai, Phys. Status Solidi C **5**, 3116 (2008); etc.

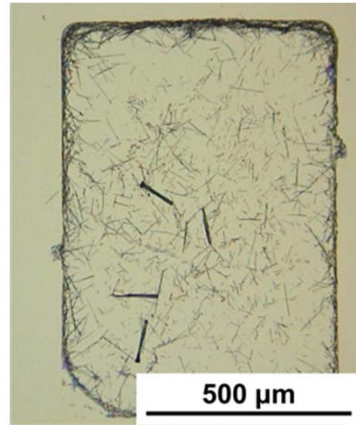
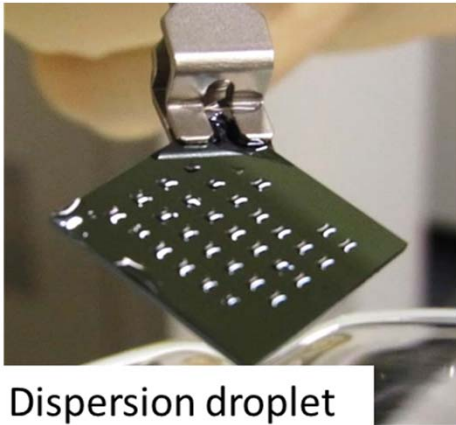
✓ H_3PO_4

T. Oshima, *et al.* Jpn. J. Appl. Phys. **48**, 040208 (2009); etc.

まとめ

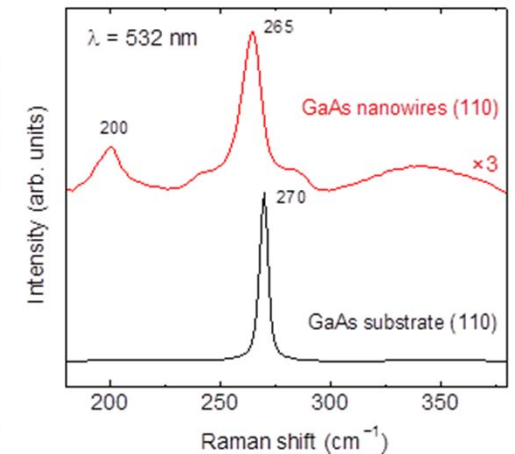
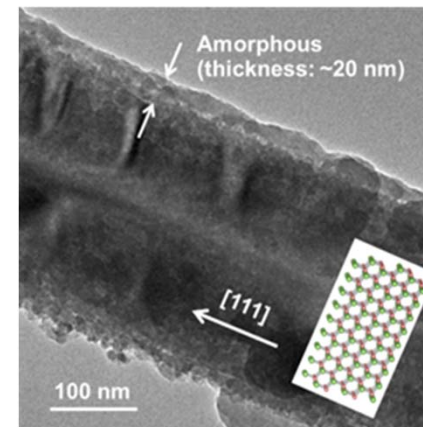
(1) 親水/疎水パターンニング

→ ウェットプロセスで狙ったところに直接半導体膜を形成



(2) アノードエッチング GaAs NW 表面

→ 20 nmのアモルファスGaO_x層が形成



(3) アモルファス層の除去

→ Carrier伝導のバリアになっていると考えられるため

