

グラフェンナノリボンを用いる 半導体後工程化学ダイシング

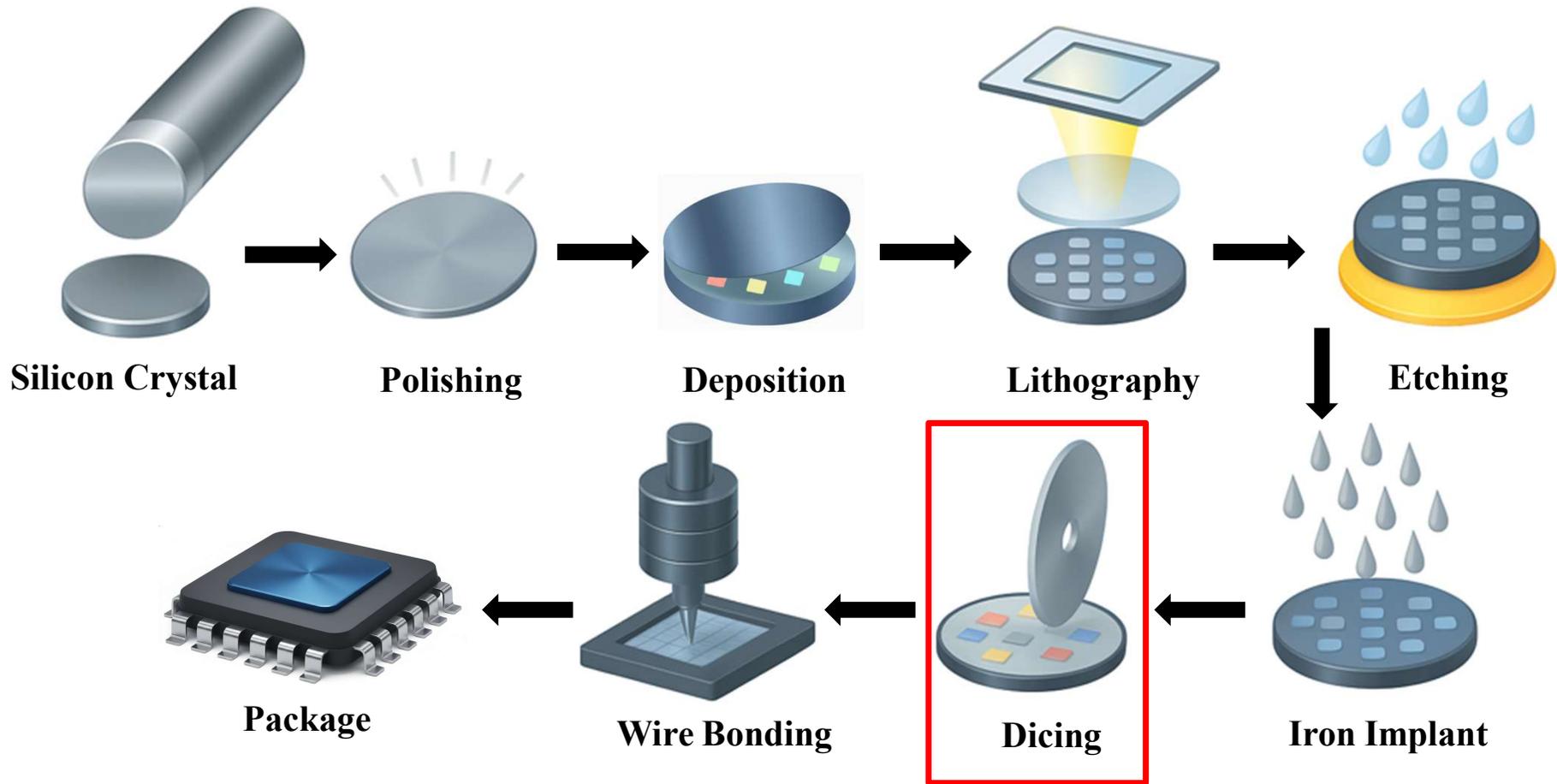
京都大学 エネルギー理工学研究所
教授 坂口 浩司

2025年11月20日

従来技術とその問題点

半導体後工程中のダイシング過程において、現在実用化されているものには、SAW、レーザー光を用いる技術があるが、大掛かりな機器の使用、切削Siのロス、エネルギーコスト大、等の問題がある。

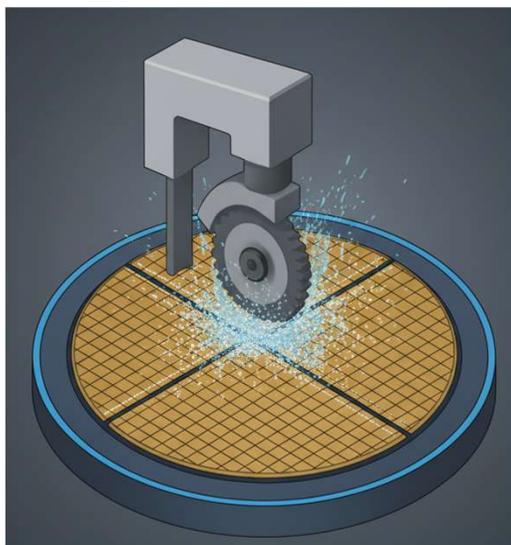
半導体製造工程：ダイシング過程に注目



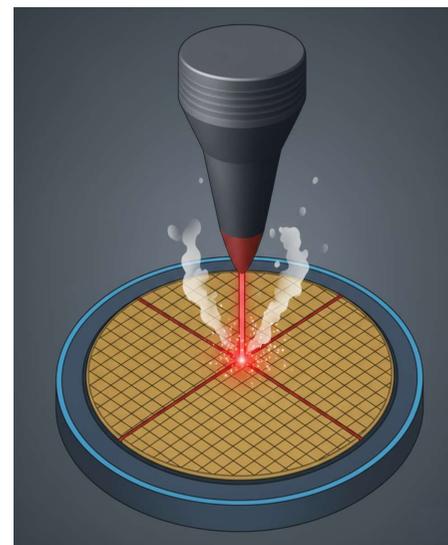
従来のダイシング技術

- 問題点：
- Si切削ロスが多い
 - 装置が必要
 - エネルギーコスト大

SAW切断



レーザー切断

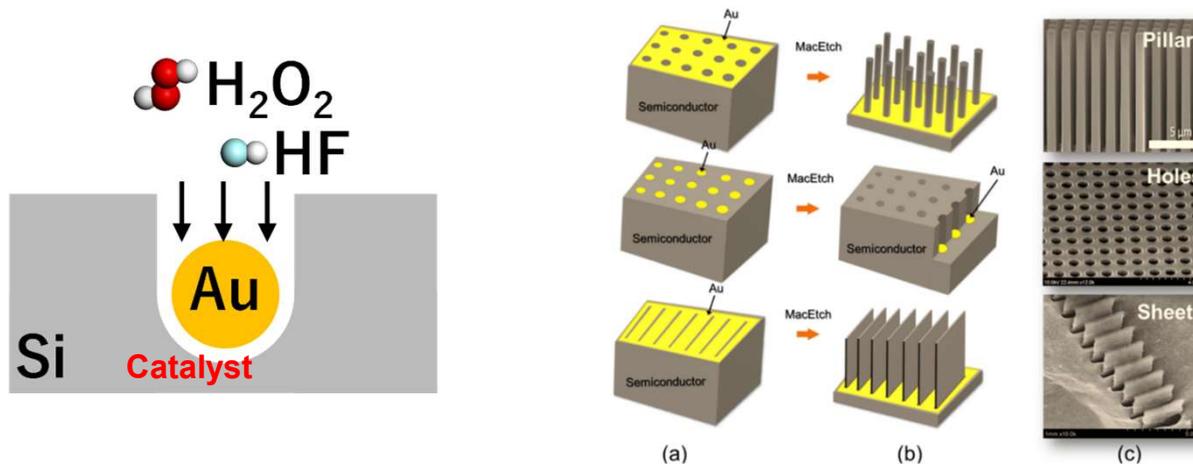
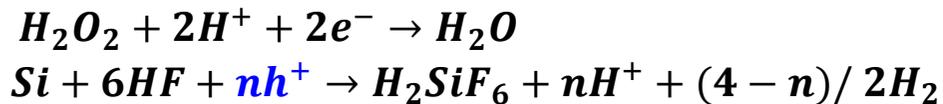


新技術の特徴・従来技術との比較

- 金属アシスト化学エッチング（MACE）法は、金属を触媒として用い溶液中にSi基板を浸漬してエッチングを行う新しい技術であり、従来のSAW,レーザー光を用いるダイシング技術と比較して資源ロス、大エネルギーコスト等の問題を解決するポテンシャルを有する。
- しかし、MACE法で用いられる金属触媒は、Siと合金を形成するためSiの品質を劣化させる問題点がある。本技術である炭素を用いる高活性Siエッチング触媒の適用により、従来課題を解決する新技術“化学ダイシング”の実現が期待される。

金属アシスト化学エッチング (Metal Assisted Chemical Etching)

貴金属触媒を置いた基板を反応性溶液に浸漬しSiをエッチングする方法



利点

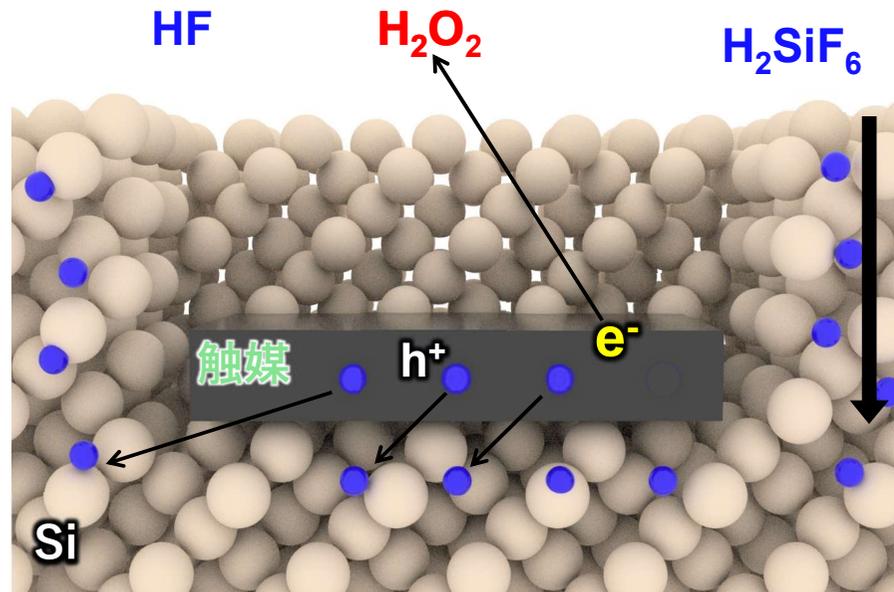
- Si基板へのダメージ小
- 回込み無→高い成形精度
- 同時に複数異形状作製可

問題点

- 金属残留有
- 貴金属：高触媒活性
高コスト

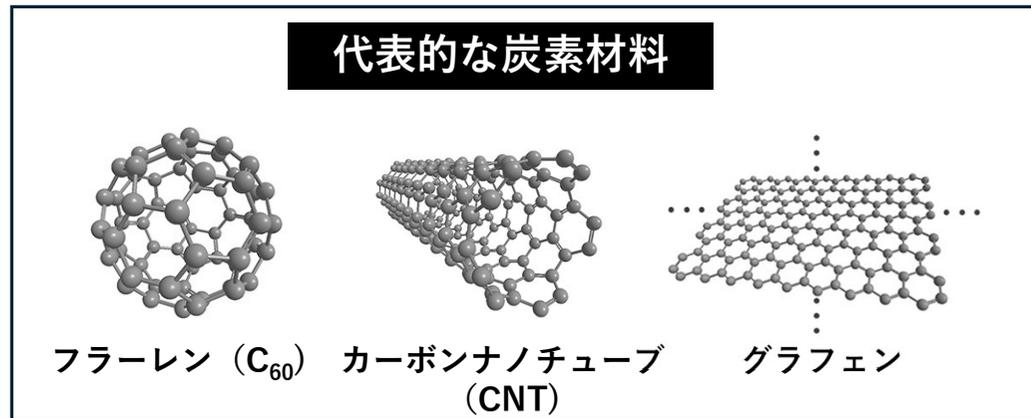
R. P. Srivastava, et al., *Adv. Mater.* 2021, 33, 2005932

金属アシスト化学エッチング(MACE)の原理



1. 触媒が H_2O_2 (エネルギー源) に電子(e^-)を渡す
2. 触媒がSiに正孔(h^+)を渡す
3. H^+F^- がSiを掘削

従来の炭素材料を用いるSi化学エッチング



グラフェンを用いたSiエッチング 触媒能：低

Graphene mesh / Si
Si nano-pillars
200 nm
500 nm
Porous Si
1 μm
グラフェン

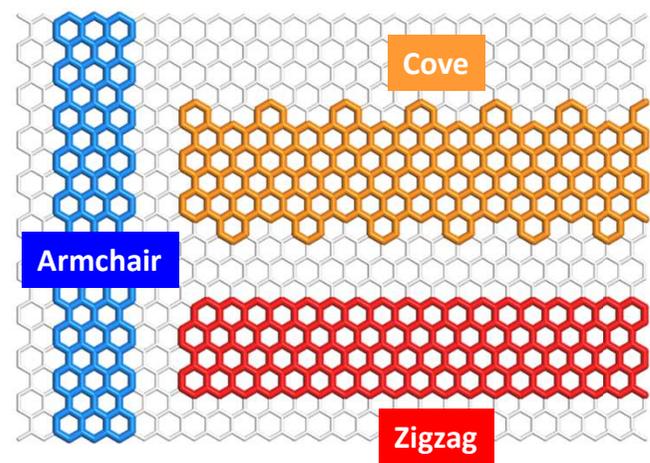
J. Kim *et al.*, *ACS Appl. Mater. Interfaces* 7, 24242 (2015).

CNTを用いたSiエッチング 触媒能：金の1/10

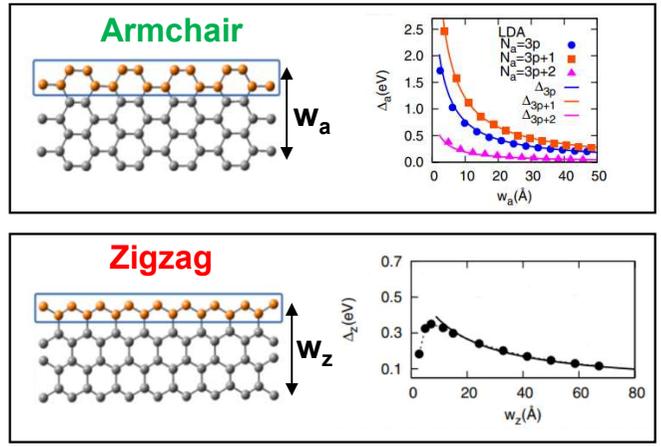
CNT
H₂O₂ H₂O
h⁺
1 μm
→ = Oxidant Reduction ⇨ = Carrier Injection → = Mass Transport

T. S. Wilhelm *et al.*, *ACS Appl. Nano Mater.* 2, 7819 (2019).

新しい炭素半導体：グラフェンナノリボン(GNR)

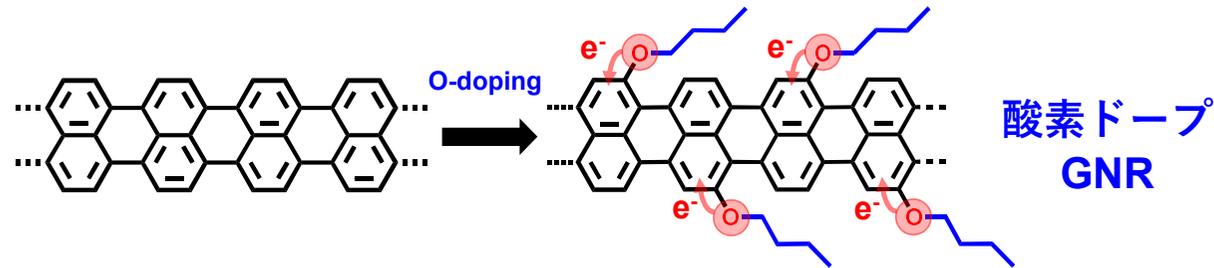


- 一次元炭素構造
- エッジと幅の制御により半導体特性を制御可能

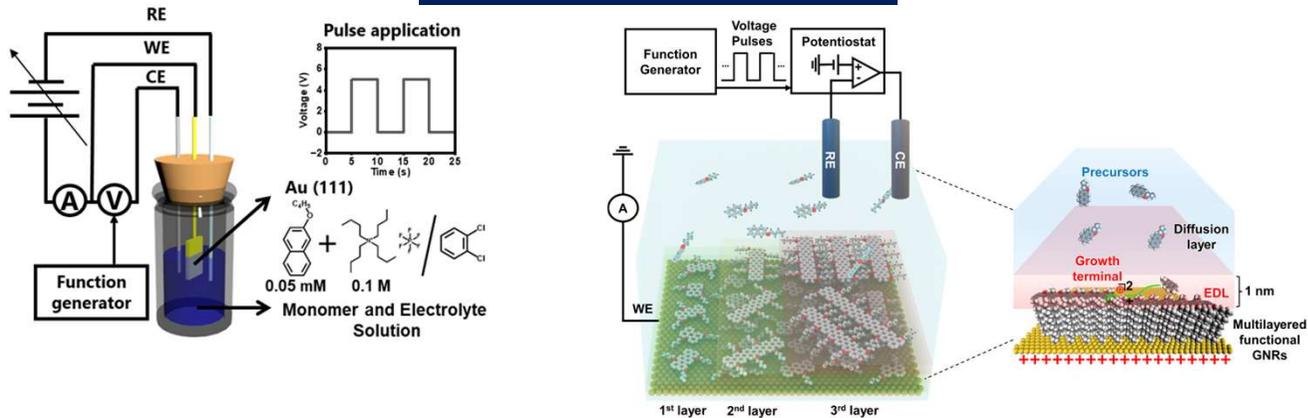


Y-W Son, et. al. *PRL* 97, 216803 (2006).

開発した酸素ドーピンググラフェンナノリボン



電気化学合成法



H. Sakaguchi, et al. *Nat. Commun.*, 2024, 15, 5972.

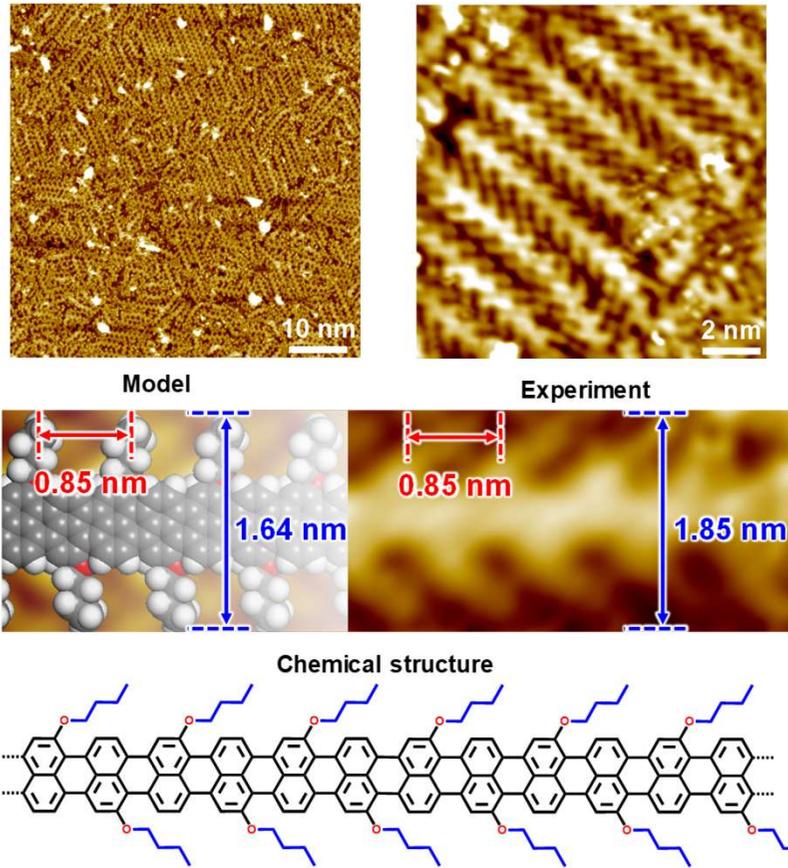
「貴金属使わずシリコン微細加工」2024.7.30.日本経済新聞

「炭素細線で新製造法 酸素ドーピング型GNR合成」2024.7.30.日刊工業新聞

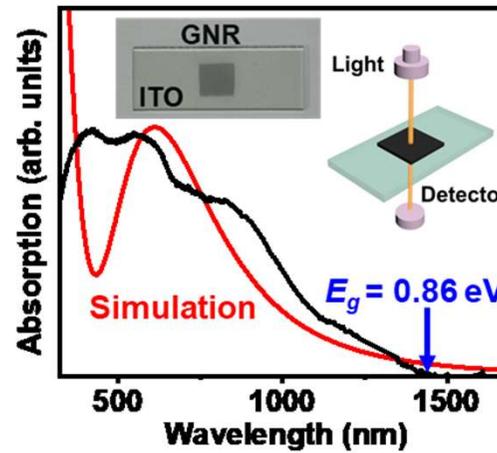
「酸素ドーピング型グラフェンナノリボン 常温で合成に成功」2024.9.2 JST Science Japan

酸素ドーピングGNRの特性

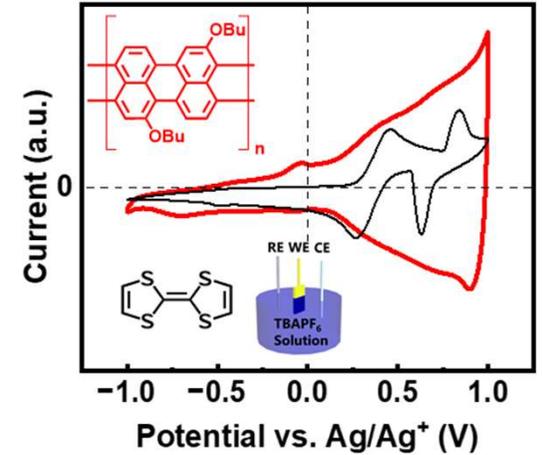
分子構造の確認



半導体特性



電子供与性

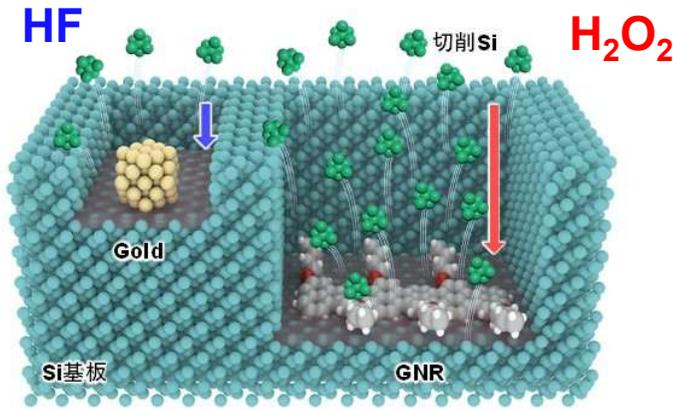


世界で最も電子供与性の高い
半導体物質

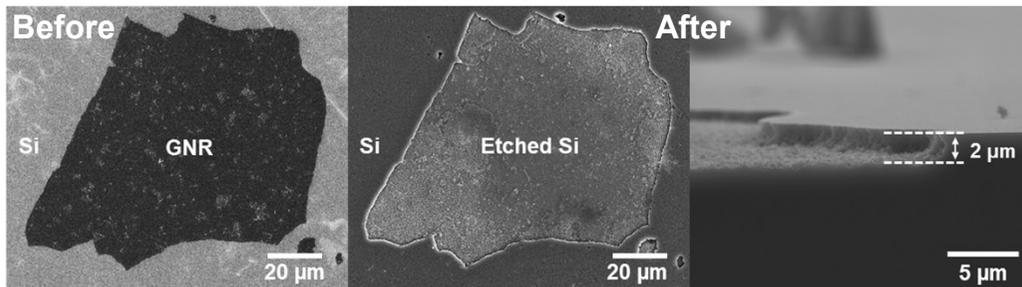
H. Sakaguchi, *et al. Nat. Commun.*, 2024, 15, 5972.

酸素ドーピングGNRのSiエッチング性能

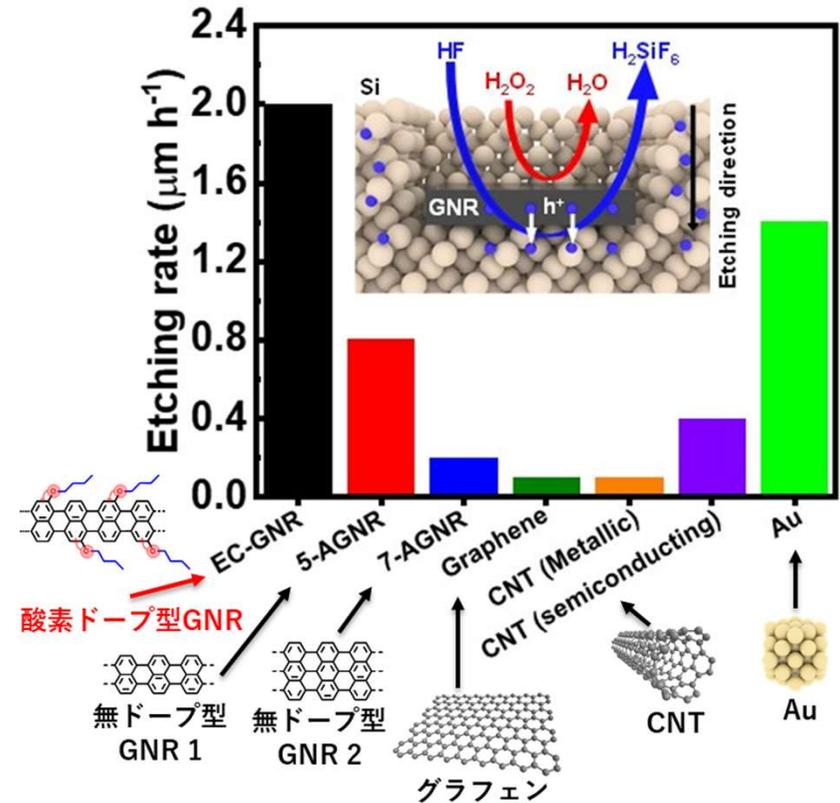
液相・気相Siエッチング



SEMによる触媒能評価



他材料と比べて圧倒的高性能



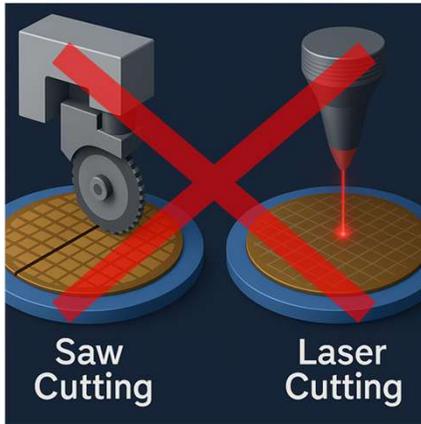
H. Sakaguchi, et al. Nat. Commun., 2024, 15, 5972.

想定される用途

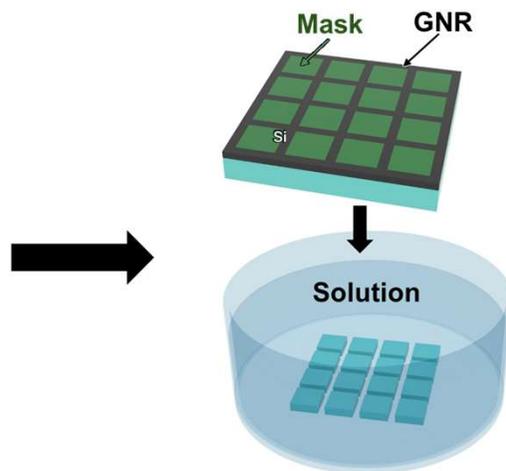
半導体プロセス（後工程）

炭素触媒による化学ダイシングの実現

Mechanical Dicing

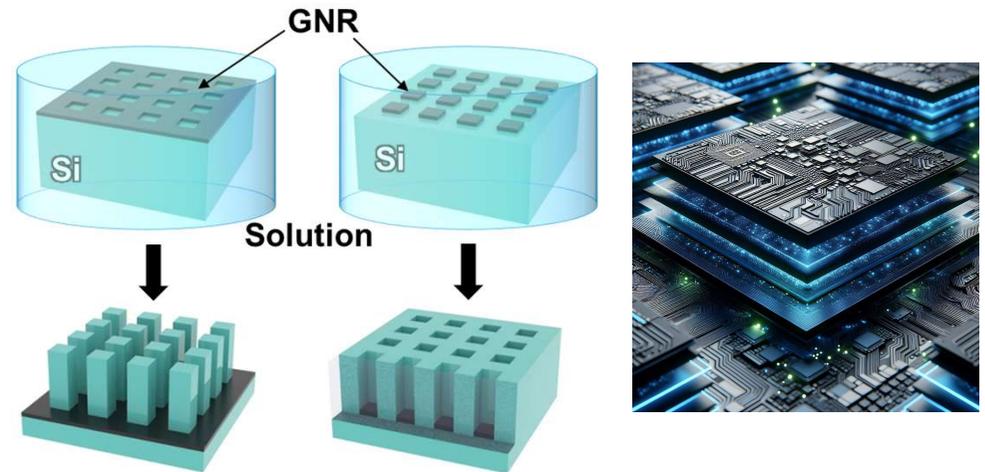


Chemical Dicing



半導体プロセス（前工程）

3D-LSI 垂直微細加工



実用化に向けた課題

- 現在、電気化学的に合成したGNR触媒のSiエッチング実証について開発済み。しかし、電気化学合成法ではSiウェハーの任意の位置で選択的にエッチングすることは不可能である。
- 今後、GNR触媒を任意の位置に堆積させることが可能な溶媒可溶性の高触媒活性GNRの有機合成法を開発する必要がある。
- 可溶性GNRを用いる“化学ダイシング”の実証を行う。

社会実装への道筋

時期	取り組む課題や明らかにしたい原理等	社会実装へ取り組みについて記載
基礎研究	・酸素ドーピングGNRの電気化学的合成に成功	
現在	・電気化学的に合成したGNRを触媒として用いた液相・気相Siエッチングの実証に成功	
2年後	・任意の位置でのSiエッチングを実現する溶媒可溶性な元素ドーピングGNRの有機合成法を確立 ・Siウエハーの位置選択的、高効率Siエッチングを実現	
4年後	・Siチップを用いる(実証試験の実施)	

企業への期待

- 当方の可溶性GNR触媒を用いる化学ダイシングに興味を持つ企業との共同研究を希望。

本技術に関する知的財産権

- 発明の名称 : グラフェンナノリボンを用いる
化学ダイシング
- 出願番号 : PCT/JP2025/019440
- 出願人 : 京都大学
- 発明者 : 坂口浩司、深見一弘

産学連携の経歴

- 2025年-2027年 TSMC社ー京都大学 共同研究開始
(電気化学的に製造したGNRに限定した
化学ダイシング技術開発)

お問い合わせ先

京都大学

成長戦略本部 統括事業部 イノベーション領域

e-mail : ip-eng@saci.kyoto-u.ac.jp