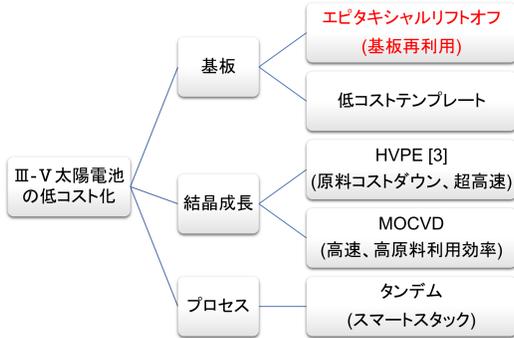


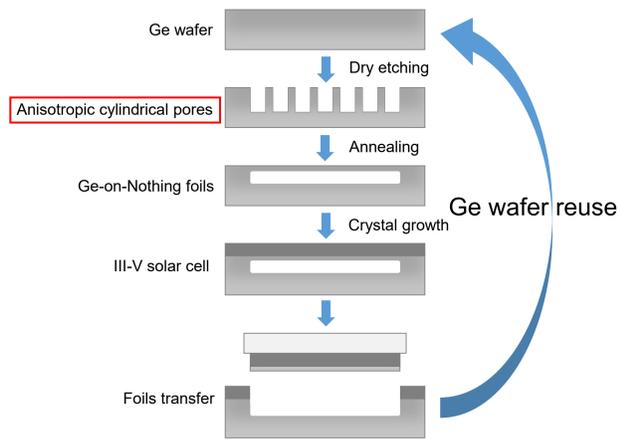
# III-V太陽電池の低コスト化に向けたGe基板再利用技術の開発

## 研究の目的

- III-V太陽電池では超高効率を実現されているが、**高い製造コスト**により応用先が限定的
- 製造コストのうち基板コストは大きな割合を占めており、**基板再利用を通じた大幅なコストダウン**が必須
- Ge基板は大口徑ウエハへ展開が容易であり量産性に好適 [1] [2]
- 今回、Ge基板リサイクル技術の構築に向けて、報告例が少ないGeの**異方性エッチング**技術をICP-RIEで検討

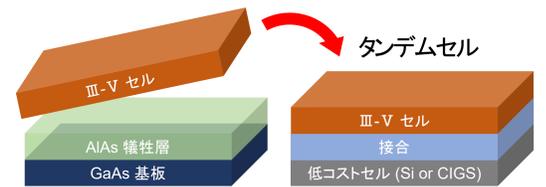


## 本研究のアプローチ Germanium-on-Nothing (GON)



- 既に電子デバイス応用されているSilicon-on-Nothing (SON) 技術をGeに適用 [4] [5]
- GON構造のために必要な**微細加工技術**を本研究で検討

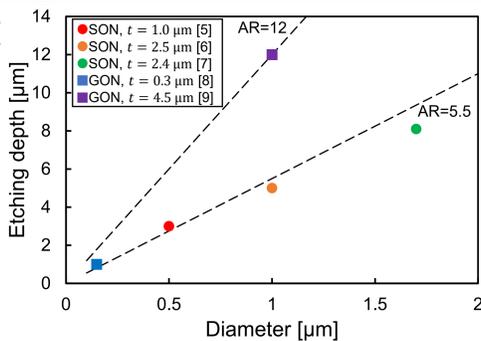
## 従来の方法 Epitaxial Lift-Off (ELO)



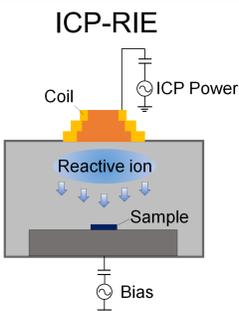
- エッチングが非効率的 (数時間要する)
- 大面積化が困難
- 反応選択性の問題
- HF溶液の危険性

GON技術により回避

## 実験

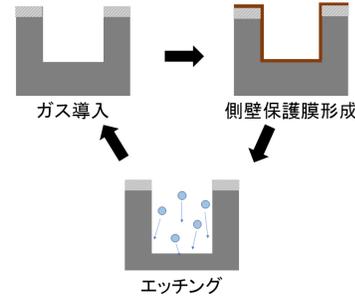


- 細孔占有率(35%~45% [8])・アスペクト比AR(5.5~12 [9])の調整によりGON膜厚( $t$ )が制御可能
- SONよりも高アスペクト比が必要

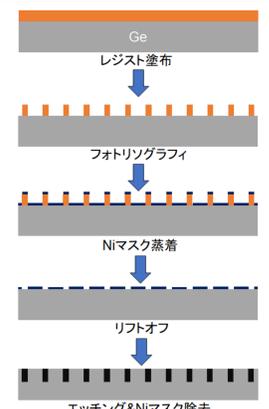


- 誘導結合プラズマ放電形式により安定した高密度プラズマを発生
- 高速、高アスペクト比の異方性エッチング

## Bosch process

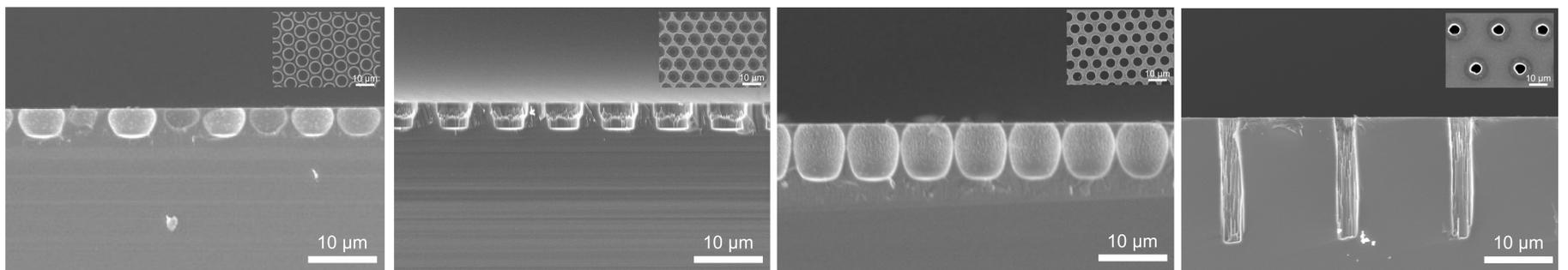


- 反応性イオンエッチングと側壁保護膜のデポを交互に実施 [10]
- 高アスペクト比の深掘りエッチング



本実験の流れ

## 結果



SF<sub>6</sub>/C<sub>4</sub>F<sub>8</sub>混合ガス  
ICP: 480 W, Pressure: 5 Pa  
エッチングレート: 1.2 μm/min  
AR=0.9

SF<sub>6</sub>/C<sub>4</sub>F<sub>8</sub>混合ガス  
ICP: 200 W, Pressure: 1 Pa  
エッチングレート: 0.3 μm/min  
AR=2.4

Bosch process  
エッチングガス: SF<sub>6</sub>/Ar  
保護ガス: CHF<sub>3</sub>  
エッチングレート: 0.1 μm/cycle  
AR=1.8

Bosch process  
エッチングガス: SF<sub>6</sub>/Ar  
保護ガス: C<sub>4</sub>F<sub>8</sub>/Ar  
エッチングレート: 0.1 μm/cycle  
AR=4.5

- SF<sub>6</sub>/C<sub>4</sub>F<sub>8</sub>混合ガスを用いたエッチングでは、**低パワー、低圧力下で異方性エッチング特性が向上**することを見出した
- Bosch processを用いたエッチングでは、保護ガスとして**C<sub>4</sub>F<sub>8</sub>/Ar**ガスを用いることでエッチングレートの低下なく異方性エッチングが可能だが、エッチング面の平滑性に課題が残った

## まとめ&今後の方針

- Geウエハの微細加工プロセスでは、Bosch processを用いること、**ガス種・パワー・圧力**の最適化することで高アスペクト比の異方性エッチングが実現できた。
- 今回条件ではエッチング面の平滑性が低く、条件の更なる最適化が必要である。
- 今後はアニールによるGON薄膜の形成を試し、適切なパターンとエッチング深さを検討する。

## 謝辞

本研究(の一部)は、文部科学省「マテリアル先端リサーチインフラ」事業(課題番号:JPMXP1223AT0352)の支援を受けた。

## 参考文献

- [1] M. Bosi, G. Attolini, *Prog. Cryst. Growth Charact. Mater.* **56**, 146-174 (2010).
- [2] V. Depauw *et al.*, *Prog. Photovolt.* **31**, 1315-1328 (2022).
- [3] R. Oshima *et al.*, *Crystals* **13**, 370 (2023).
- [4] V. Depauw *et al.*, *MATER SCI ENG B-ADV.* **159-160**, 286-290 (2009).
- [5] M. Jurczak *et al.*, *IEEE Trans Electron Devices.* **47**, 2179-2187 (2000).
- [6] J. Kim *et al.*, *Nano Lett.* **16**, 1537-1545 (2016).
- [7] X. Hao *et al.*, *IEEE Sensors Journal.* **14**, 808-815 (2014).
- [8] S. Park *et al.*, *Joule* **3**, 1782-1793 (2019).
- [9] M. G. Jeong *et al.*, *J Microelectromech Syst.* **31**, 183-185 (2022).
- [10] V. J. Genova *et al.*, *J. Vac. Sci. Technol. B.* **36**, 011205 (2018).