



# フリースペース型近赤外受光器応用に向けたSi上トレンチ埋め込みGeエピタキシャル成長



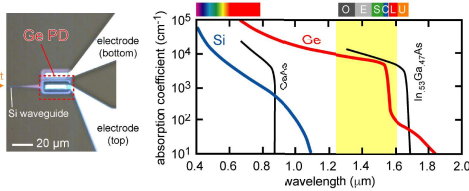
プロジェクトメンバー: 石川 靖彦<sup>1</sup>、野崎 颯<sup>1</sup>、前田 匠海<sup>1</sup>、J. A. Piedra Lonzana<sup>1</sup>、飛沢 健<sup>1</sup>、中井 哲弥<sup>2</sup>  
1: 豊橋技術科学大学 電気・電子情報工学系 2: 株式会社SUMCO



## Si上Ge受光器 (PD)

### シリコンフォトニクスにおける近赤外(NIR)受光器

- 導波路一体型受光器
- オンチップ光通信



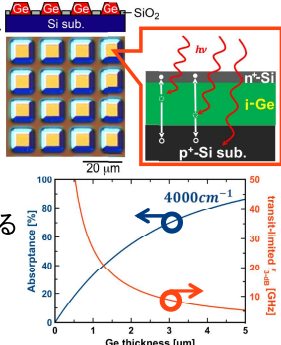
- フリースペース型受光器
- 近赤外イメージセンサ
- アイセーフセンシング
- LiDAR
- 単一光子検出

## フリースペース型PDにおける問題点

### 受光効率と動作速度のトレードオフ

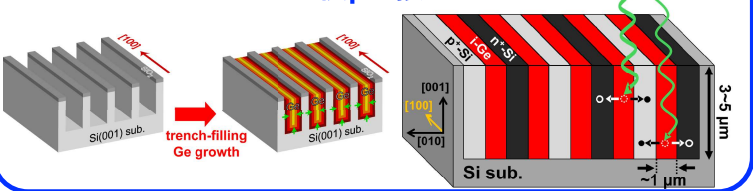
- 高受光効率なGe厚膜は動作速度が劣る
- 例: 厚み5 μm Ge層
  - 光通信波長帯1.55 μmにおいて量子効率80%
  - 周波数は10GHz以下

- LP/UHV-CVDでは結晶成長に長時間を要する
- 低成長レート ~ 10 nm/min



### 課題解決に向けたアプローチ

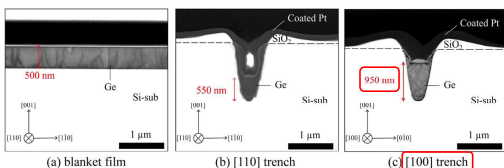
## トレンチ埋め込みGe + 横pin接合



これまでの検討結果 - J. Electron. Mater. 52, 5066 (2023), Jpn. J. Appl. Phys. 63, 03SP29 (2024).

### 短時間でトレンチ埋め込みGe成長

- [100] 方向に合わせたサブマイクロトレンチ: [100] 側壁
- UHV-CVDによる分子流領域での結晶成長
  - GeH<sub>4</sub> ガスをトレンチ内に供給できる
  - (001) 底面からの垂直成長
  - [100] 側壁からの横成長 → トレンチ埋め込み成長の促進

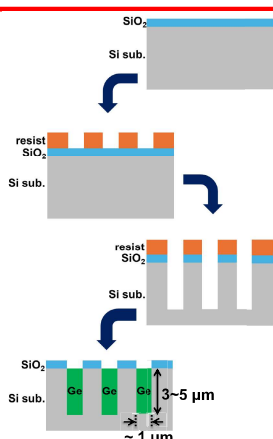


### 今回の目的

## 深さ3μm以上のトレンチに対するGeエピタキシャル成長

## サンプル作製

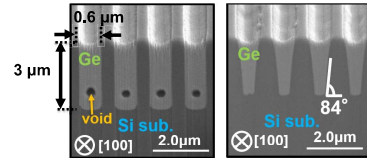
- 基板: SiO<sub>2</sub>膜形成 Si (001) ウエハ
- i線フォトリソグラフィによるサブミクロスケールのレジストパターニング
- SiO<sub>2</sub> とSiのドライエッチング
- トレンチ埋め込みGe成長
  - UHV-CVD
    - 9% GeH<sub>4</sub>/Ar ガス
    - 5 Pa: 分子流領域
  - 平坦膜で500 nm相当のGe成長
    - 二段階成長法
    - 50 nm @ 370°C + 450 nm @ 600 or 700°C



## 結果と考察

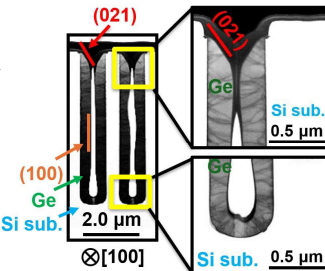
### Ge成長の典型的例 - ボイド形成

- トレンチ埋め込みGeにボイド発生
  - 垂直なトレンチ側壁
  - ボイドのないGeの形成
    - トレンチ側壁を数度傾斜



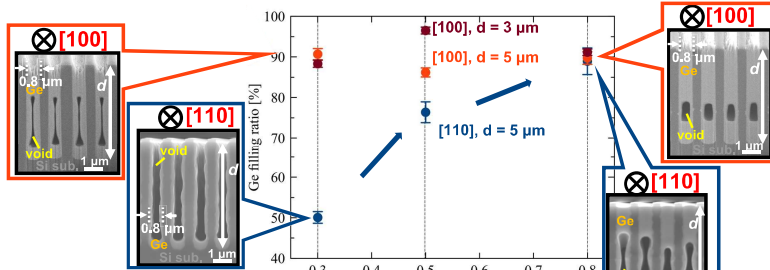
### ボイド形成メカニズム

- Ge成長初期段階のTEM像
- トレンチ上部で{021} ファセット面
  - ファセット面上ではGe原子が取り込まれず下方に拡散
  - ファセット面直下で成長が加速
- トレンチ上部の結合によりボイド形成



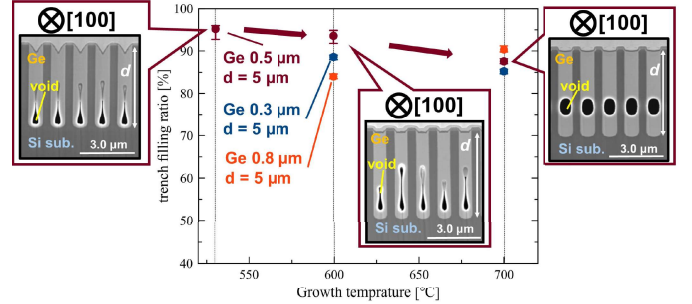
### トレンチ埋め込みGeの充填率

- 成長量(膜厚)による影響 (700°C)
  - [100] トレンチ: Ge充填率の成長膜厚依存性なし
    - [110] トレンチ: Ge充填率の成長膜厚依存性あり
  - ボイド形状: 成長膜厚依存性あり(成長時間依存性)



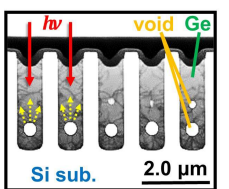
### 成長温度による影響

- ボイド形状: 成長温度依存
  - 高温ではボイドが円筒状に変形(表面エネルギーの最小化による効果)



### PDデバイス応用におけるボイドの効果

- ボイドにより欠陥がトラップ
  - 貫通転位数の低減
- ボイド表面で入射光が散乱および反射
  - 受光感度の向上



## 結論

- Si基板上に形成した数μm深さのトレンチに対するGe埋め込み成長に成功したが、ボイドが形成された。
- トレンチ上部付近の側壁が先に結合することによりボイドが形成されたと考えられる。
- ボイドの大きさおよび形状はGeの成長時間や成長温度に依存して変化する。
- ボイドは光の散乱体として振る舞い、受光感度を向上させることが期待される。

技術を究め、技術を創る

