

2018/07/04

2018/07/18

第32回 材料解析テクノフォーラム

新技術紹介

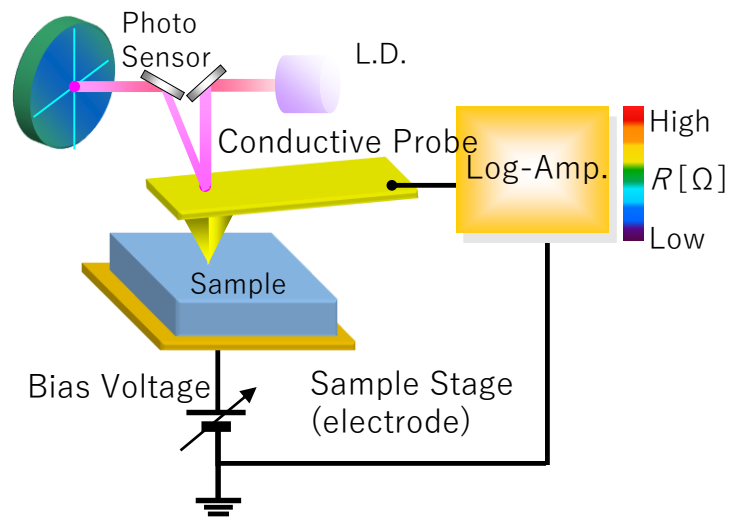
## FIB-Ar/Xeビームを用いた前処理技術

走査型拡がり抵抗顕微鏡 (SSRM)を用いたドーパントプロファイル評価

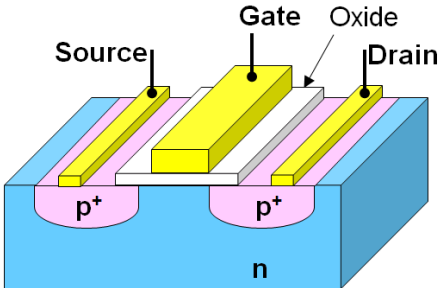
株式会社 日立ハイテクノロジーズ  
科学システム営業本部  
科学マーケティング部／田村 慶太  
アプリケーション開発部／山岡 武博

- ・ SSRMの試料作製法として研磨法による試料前処理手法が現在主流であるが、技術の習得／作業者による加工品質依存／加工時間／加工不備による再研磨が課題となっている。また、不良個所をピンポイントで研磨することが困難。
- ・ FIBを使用した特定箇所の薄膜化では照射面にダメージが発生する。このダメージを除去するために低加速FIBを用いることが多いが、弊社製装置では更にダメージを軽減するためにAr/Xeイオンビーム光学系を搭載することが可能。
- ・ 今回、研磨法の代わりにFIBがSSRM用資料の前処理に用いることが可能か検証実験を行った。

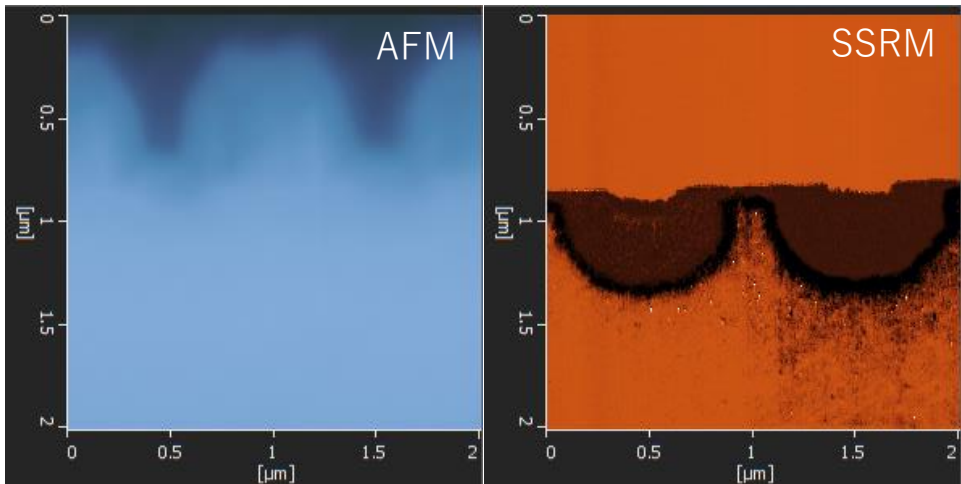
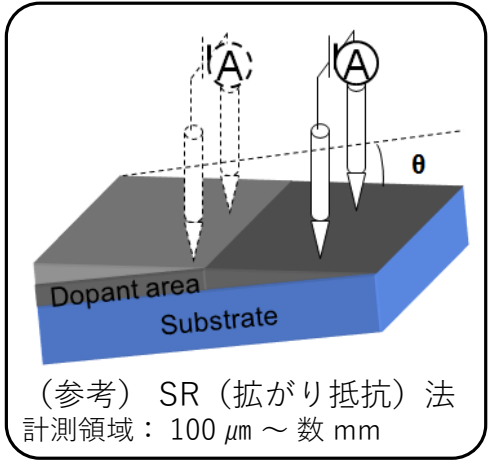
# SSRM（走査型拡がり抵抗顕微鏡）について



探針:Bドーパダイヤモンドコートカンチレバー  
検出:探針試料間に流れる電流を対数アンプで検出し抵抗へ変換  
ダイナミックレンジ:  
10 pA~0.1 mA(半導体不純物濃度  $10^{15} \sim 10^{20} / \text{cm}^3$ )



MOSトランジスタ断面の真空中SSRM観察



## 研磨

ウェハーから切り出し



観察エリアまで粗研磨



最表面平坦化处理  
鏡面研磨

研磨技術習得にかかる時間に加え、  
研磨熟練者でも半日から数日の研  
磨期間が必要。

## FIB

ウェハーから切り出し



裏面電極作成



最表面平坦化处理

Si試料の場合、総加工時間は約3  
～6時間。  
研磨では極めて困難な数um以下  
の特定不良個所の観察。

真空環境による  
高分解能SSRM観察

| 手法比較     | へき開      | 研磨         | FIB                 |
|----------|----------|------------|---------------------|
| 処理時間     | ◎<br>数分  | △<br>半日～数日 | ○<br>3～6時間          |
| 測定感度     | ◎        | ○          | ○                   |
| 不良解析     | ×        | △          | ◎<br>数um以下のピックアップも可 |
| 熟練者の必要性  | △<br>手作業 | ×<br>有り    | ◎<br>なし             |
| 観察エリアの指定 | ×        | ○          | ◎                   |
| コスト      | ◎        | △          | △                   |



## 高輝度CFE電子銃と電磁界重畳型複合対物レンズを搭載

HRモードでの高分解能観察（セミインレズ）  
FFモードでの高精度加工終点検知（リアルタイムモニタリング）  
SEMカラム内に複数の検出器を搭載（Aquila  $\alpha$ ）

## 高スループット加工

高電流密度FIB-SEMによる高速加工（最大ビーム電流100nA）  
ユーザー自身がプログラムできる加工観察スクリプト

## マイクロサンプリング®

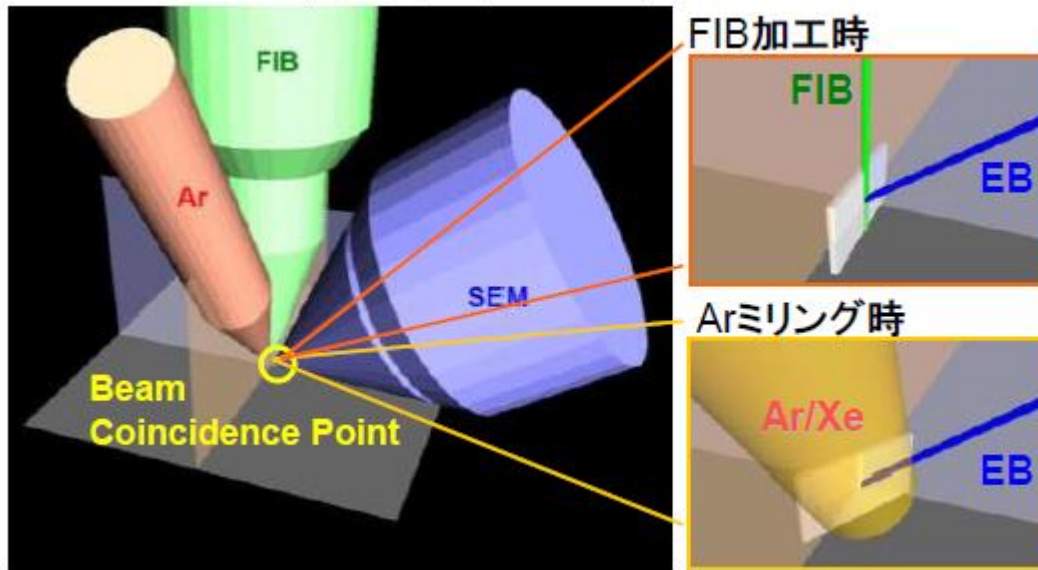
ACE技術（姿勢制御）によるカーテン効果の抑制  
イオンビームの入射角度を制御して均一な厚さの薄膜試料作製

## 低損傷加工を実現するトリプルビーム®システム

低加速希ガス（Ar/Xe）イオンビームによる低損傷加工  
E-BeamやArビームを使ったダメージレスデポジション

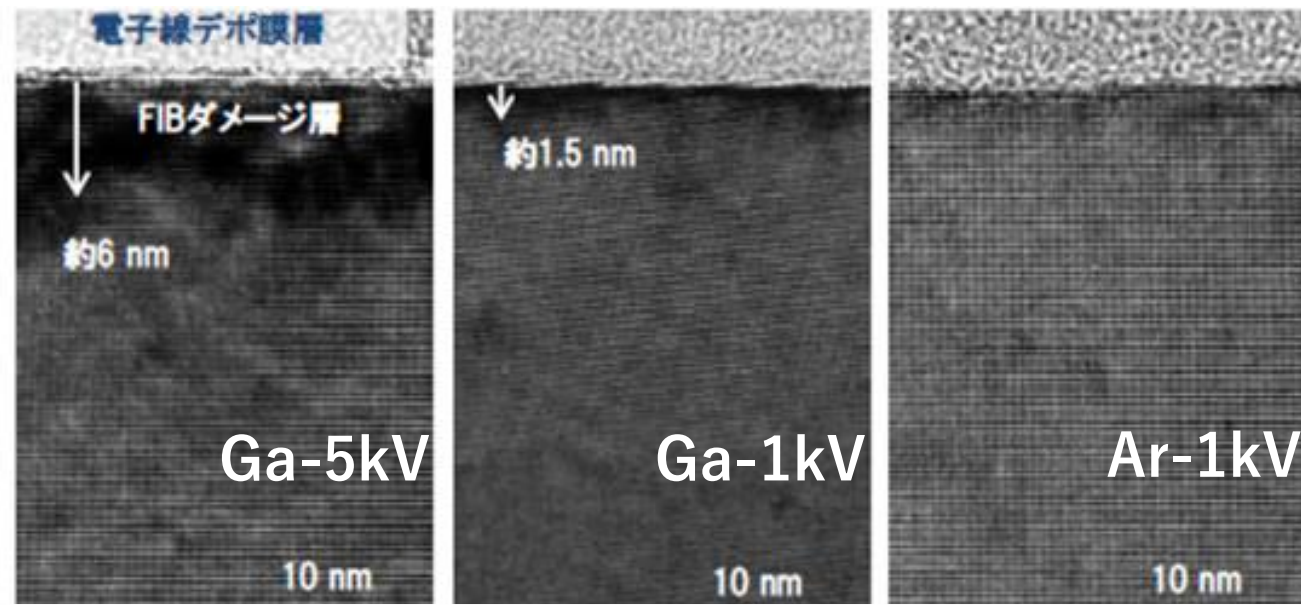
## 様々なアプリケーションに対応できる試料室とステージ

様々なアクセサリーが搭載可能な大容量／多ポート試料室  
大型試料が搭載可能な高安定／高耐振ステージ（X-Y：155mm）



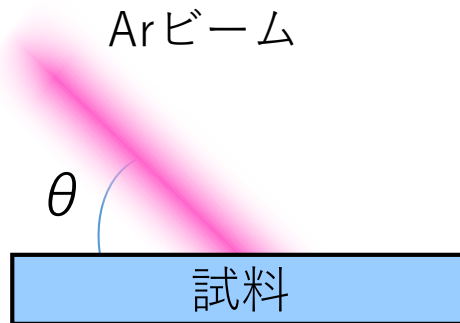
試料:GaN

加速電圧及びビーム種(Ga/Ar)の違いによる試料ダメージ層比較

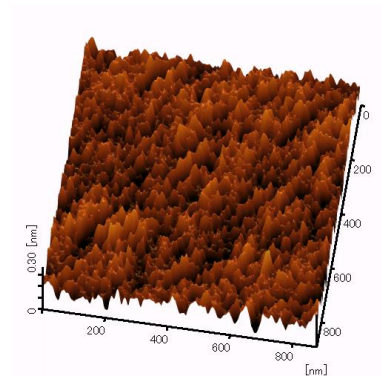




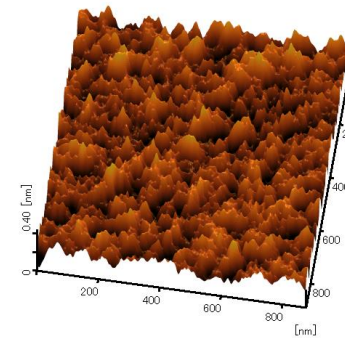
## 低加速FIB + Arビーム処理面のAFM表面粗さ計測結果



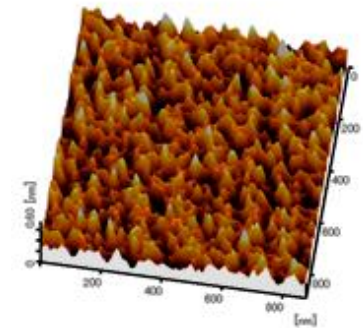
照射角度 :  $\theta$   
試料 : Si 基板



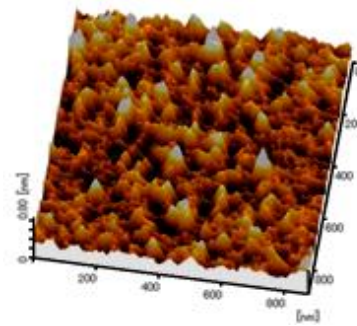
5 deg (Ra=0.036 nm)



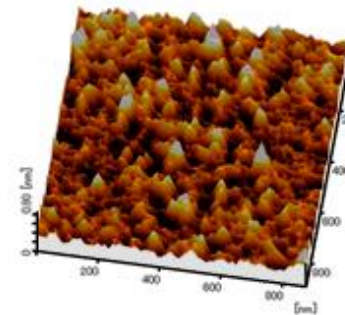
10 deg (Ra=0.044 nm)



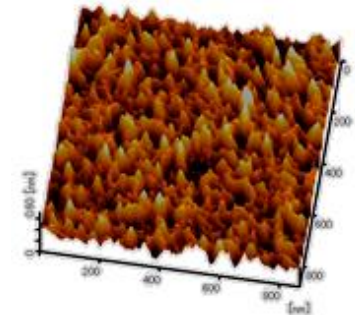
15 deg (Ra=0.070 nm)



20 deg (Ra=0.072 nm)



25 deg (Ra=0.082 nm)



30deg (Ra=0.087 nm)





## 10<sup>-5</sup>Pa高真空環境によるメリット

吸着水の影響を最小限に抑えることができるため、電気特性計測（SSRM, SNDM, C-AFM等）において高分解能観察が可能

また、大気ガス分子運動や粘性抵抗の影響を排除し、測定感度を向上させることが可能

## 卓越した環境制御機能

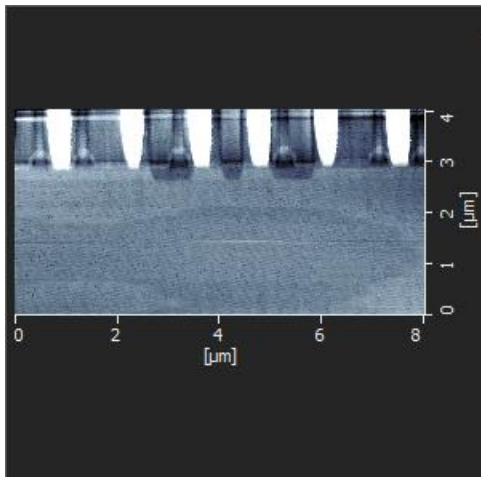
最大800°Cまでの加熱制御に加え、-120°Cまでの冷却制御、ガス置換制御、湿度制御等の環境制御が容易

## 簡易操作の実現

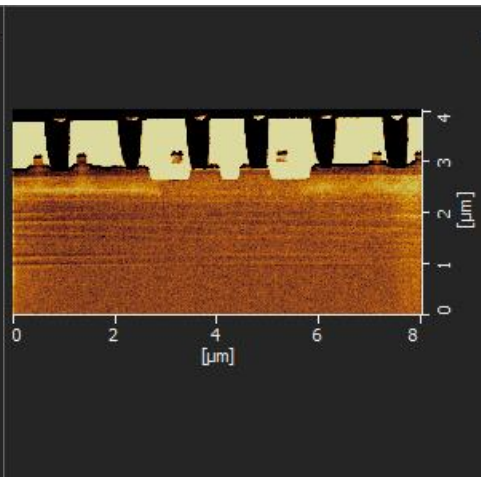
試料交換後の光軸調整や測定モード切替時のホルダ交換を不要にした統合型ホルダフランジ設計

# 低加速FIB + Arビーム処理後真空SSRM測定例(2018)

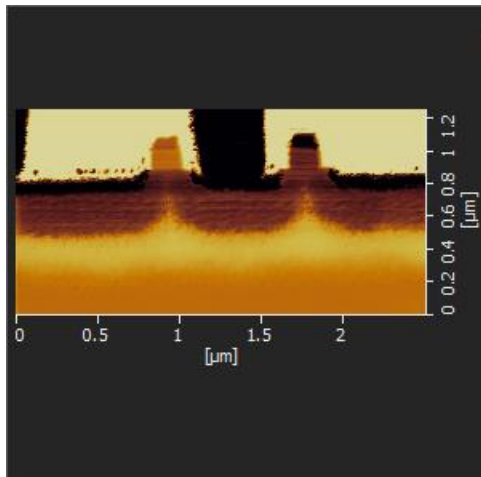
形状像



SSRM像

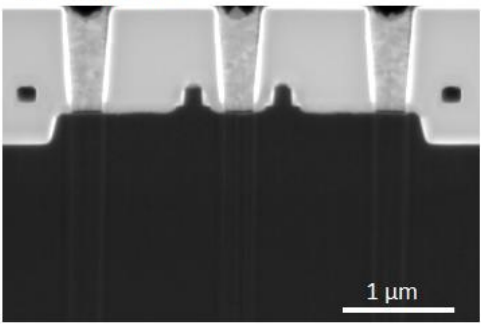


SSRM像



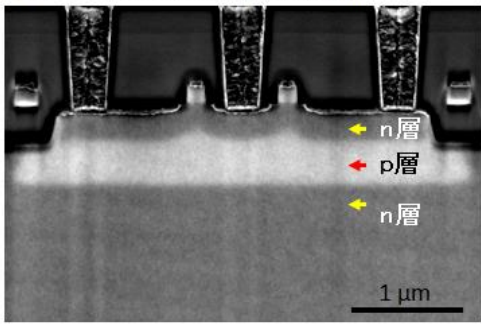
(参考) 同一試料のFE-SEMによるドーパント層の観察 (SEM Application Data Sheet HTD-SEM-004)

(a) FIB加工面



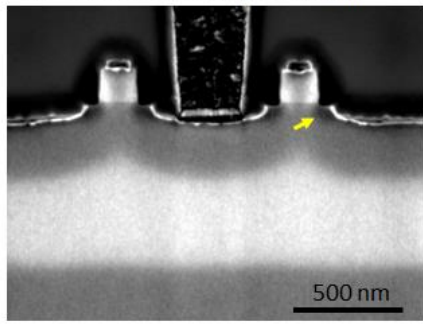
FIB加工条件: 加速電圧 40 kV  
SEM観察条件: 加速電圧 1.5 kV、二次電子像  
観察倍率 ×20,000

(b) FIB加工+Arイオンミリング面



FIB加工条件: 加速電圧 40 kV  
ミリング条件: 加速電圧 0.5 kV、加工時間 40 分  
SEM観察条件: 加速電圧 1.5 kV、二次電子像  
観察倍率 ×20,000

(c) FIB加工+Arイオンミリング面



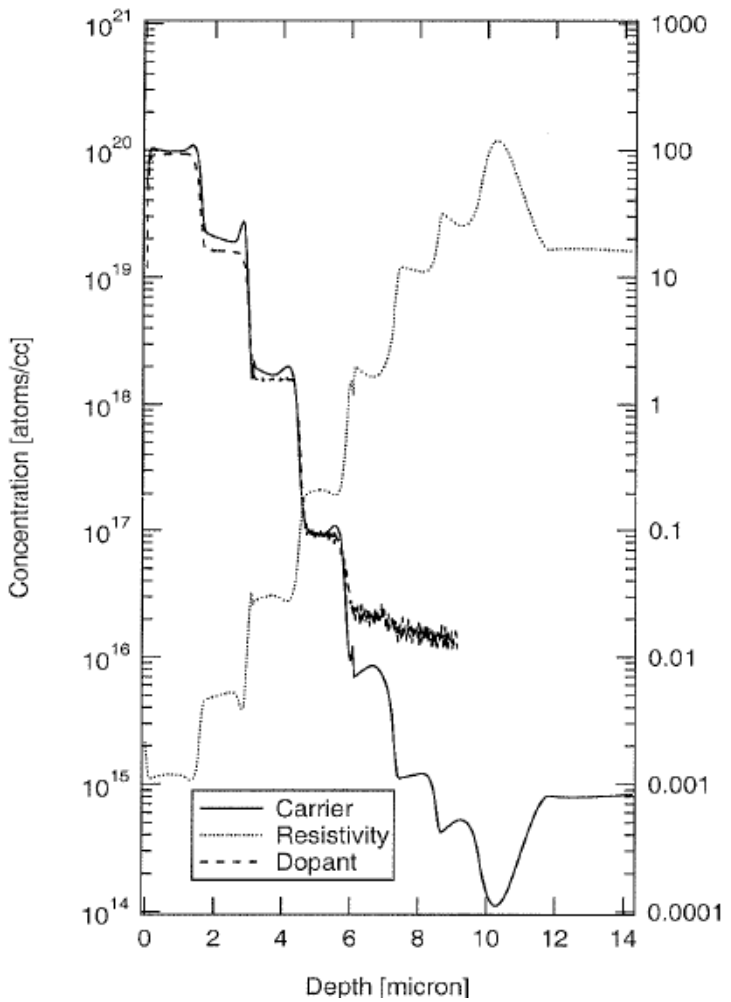
FIB加工条件、ミリング条件: (b)と同様  
SEM観察条件: 加速電圧 1.5 kV、二次電子像  
観察倍率 ×60,000

図2 MOSトランジスタ(NMOS)断面のドーパント層観察結果

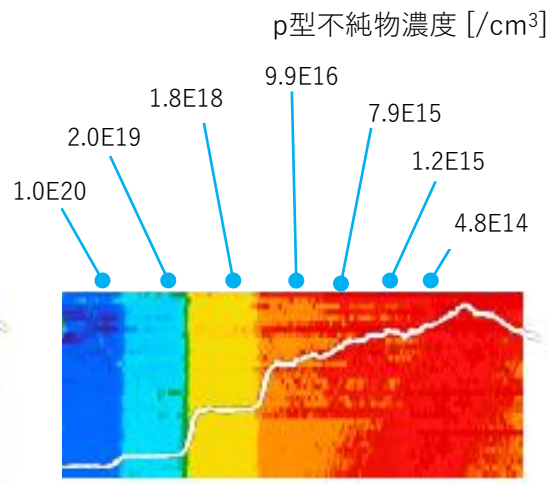
試料: SRAM

# 研磨及びFIBによるp型濃度ステップのSSRM観察

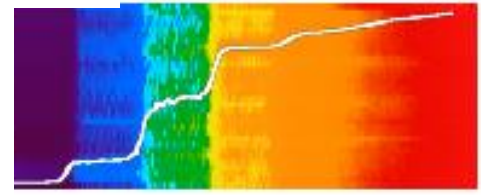
試料:IMEC p型濃度ステップ



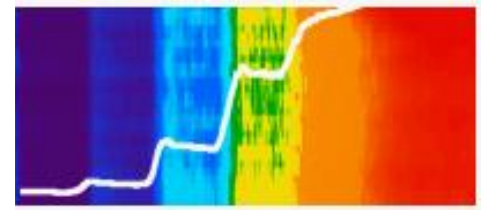
研磨



低加速FIB + Arビーム処理



低加速FIB + Xeビーム処理



- ・ Ar/Xeイオンビームによる仕上げ加工を用いて、FIB加工によるGa打ち込みの残留ダメージ層が除去でき、明瞭なSSRM画像を得ることができたと考えている。
- ・ FIBが研磨法の代わりとなるか検証実験を行い、IMEC製不純物濃度ステップ試料及びSRAM試料に試し、研磨とほぼ遜色ない結果を得ることができた。
- ・ FIBを用いる事で、研磨法では困難な微小不良部位のドーパント濃度解析や高い硬度を持つSiCデバイスへの応用が期待される。

**END**

---

2018/07/04

2018/07/18

第32回 材料解析テクノフォーラム

新技術紹介

FIB-Ar/Xeビームを用いた前処理技術

走査型拡がり抵抗顕微鏡 (SSRM)を用いたドーパントプロファイル評価

株式会社 日立ハイテクノロジーズ  
科学マーケティング部／田村 慶太  
アプリケーション開発部／山岡 武博