

# 東レリサーチセンター 技術資料 半導体

1. 半導体封止用樹脂の熱硬化挙動解析
2. 実装材料の熱特性評価
3. ナノインデンテーションによる物性マッピング
4. TDSによるSi基板上薄膜のH<sub>2</sub>O分析
5. ラマン分光法による先端パワーデバイスの局所温度計測
6. 先端パワーデバイス開発を支援するルミネッセンス分析
7. 実装部品内部の高分子材料のO-PTIRを用いた微小部組成分析
8. 赤外分光法による極薄膜の構造解析
9. 極薄積層絶縁膜の深さ方向官能基量評価
10. ESR法によるSiN膜中の欠陥量の深さ方向分析
11. DLTSを用いたSiO<sub>2</sub>/GaN MOSキャパシタの界面および酸化膜中トラップ準位解析
12. 最新XPS装置導入！ -深さ感度を変えた元素組成・化学状態分析-
13. マイクロXAFSによるトレンチ構造側壁TiNコート層の化学状態評価
14. TOF-SIMSによるSiC-MOSFETのパッシベーション膜〜ゲート部の深さ方向分析
15. GD-MSを用いた多種多様な材料の分析
16. SIMSによるウェハ全厚みの不純物分布評価
17. SiC MOSFET トレンチ近傍のNanoSIMS分析
18. プリセッションアシスト4D-STEM法を用いたエピタキシャル磁性薄膜の構造解析
19. EBSD-Wilkinson法を用いたパワーデバイス断面のひずみ解析
20. 電子線照射ダメージを極限まで抑制したAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>界面のSTEM-EELS評価
21. 加熱 *in-situ* TEM観察とSTEM-EDX分析による金属積層膜の熱挙動把握
22. 半導体デバイス配線部におけるCu-CuボンディングのASTARおよびSTEM-EDX分析
23. 半導体デバイスの広域3D-SEMおよび低ダメージTEM試料作製
24. 半導体用レジスト中の脂環式ポリマーの解析
25. spICP-MSによるレジスト中の金属微粒子分析
26. fsLA-ICP-MSによるSiC基板中の微量元素の三次元イメージング
27. 5G 伝送損失の評価

**TORAY**

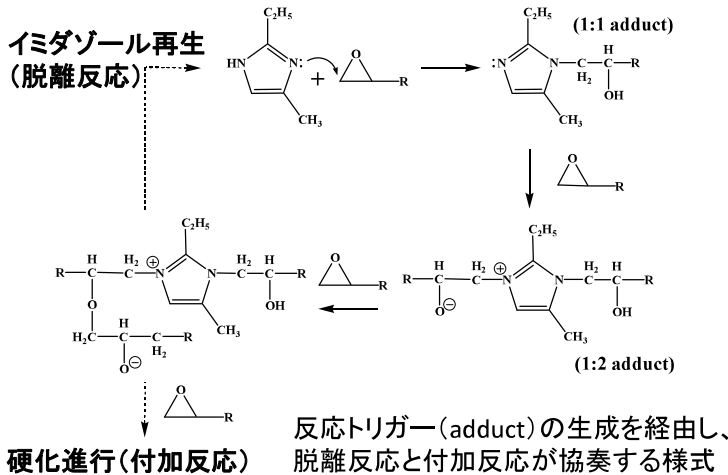
Toray Research Center, Inc.

# 半導体封止用樹脂の熱硬化挙動解析

半導体の封止樹脂には熱硬化性樹脂が使用される。熱硬化挙動は樹脂組成に大きく依存し、最適な硬化条件の決定や硬化挙動の把握には熱分析による実測が必須と言える。典型的な例としてエポキシ-イミダゾール系の解析結果(文献<sup>[1]</sup>に掲載)を紹介する。

試料提供: サンユレック(株)

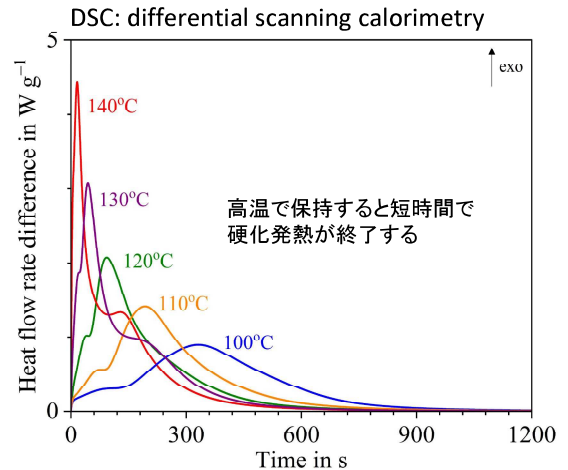
## エポキシ-イミダゾール系の反応機構<sup>[2,3]</sup>



[2] J. Appl. Polym. Sci. 12(1) (1968) 159.

[3] J. Appl. Polym. Sci. Polym. Chem. Ed., 21 (1983) 1475.

## 等温DSC測定による硬化発熱挙動の定量



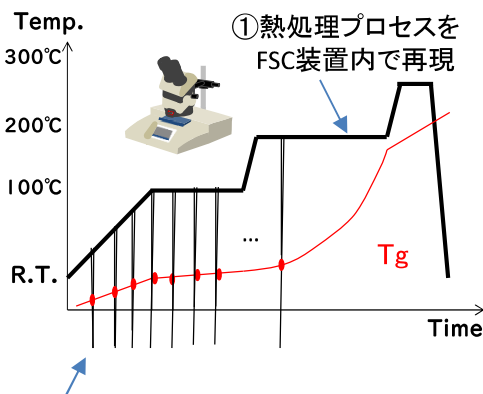
複雑な反応機構を反映し、多重の発熱ピークが観測 (反応速度解析による硬化挙動の予測が困難な系)

## 高速カロリメトリー (FSC) を用いた反応追跡

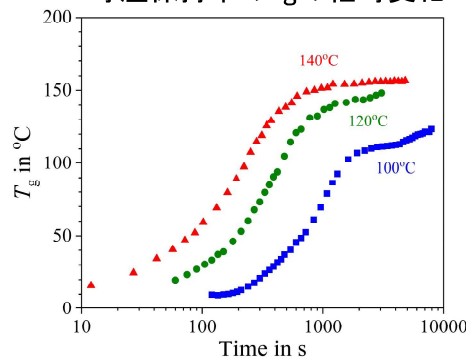
熱処理中の樹脂硬化に伴うガラス転移温度 ( $T_g$ ) の変化をリアルタイムに追跡する測定/解析法を保有【特許第7141608号】

FSC: fast scanning calorimetry

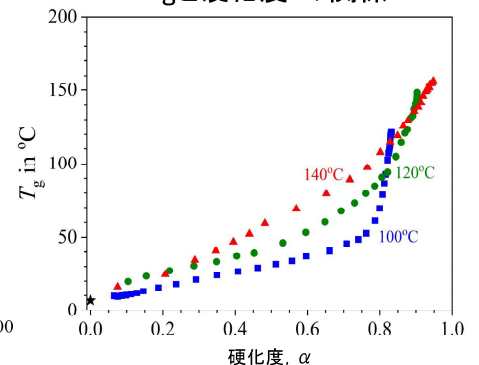
分析のイメージ



### 等温保持中の $T_g$ の経時変化



### $T_g$ と硬化度\* の関係



- 任意の時点で室温以下まで急冷 ( $3000^{\circ}C/s$ ) し、硬化反応を停止させ、その時点での  $T_g$  を読み取る
- この操作を繰り返し、熱処理中の  $T_g$  変化を追跡

保持温度は最終的に到達する  $T_g$  にも影響を及ぼす

同じ硬化度においても保持温度により  $T_g$  が異なる

\* 硬化度 ( $\alpha$ ) =  $1 - (\text{部分硬化樹脂の発熱量} \div \text{未硬化樹脂の発熱量})$

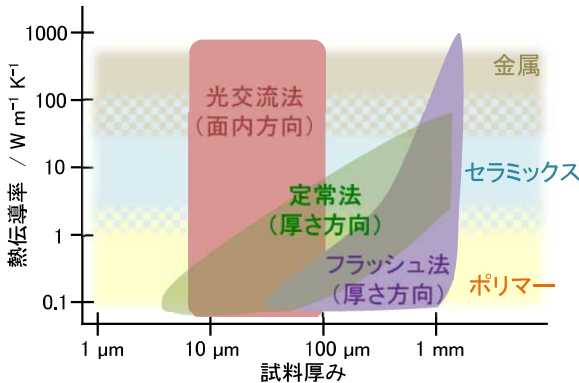
- エポキシ-イミダゾール系は複雑な反応機構を有し、発熱や  $T_g$  変化の予測が困難 (実測での確認が必須)
- $T_g$  と硬化度の関係が、硬化温度に依存することが確認された (エポキシアミン系などとは異なる挙動)
- 保有の FSC 技術により、プロセス条件の指針獲得やプロセスにおける硬化挙動の模擬が可能

[1] Y. Furushima, S. Konishi, Y. Taguchi, K. Mitsuzawa, T. Hirano, R. Endo, H. Torigoe, K. Manabe, T. Takao, Y. Ishikawa, Polymer 293 (2024) 126685.

# 実装材料の熱特性評価

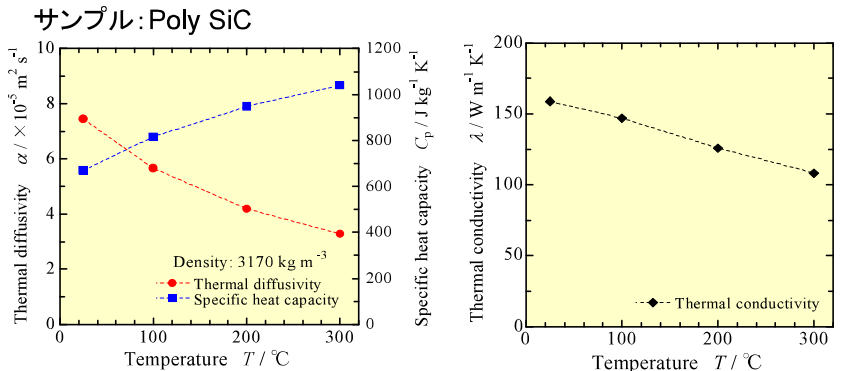
電子機器において熱がトラブルの原因となることは非常に多い。材料の熱伝導性は放熱に直結する重要なファクターであり、同じ材質であっても形状や製造方法によっても変化することがあるため、できるだけ使用する状態に近い状況で測定することが肝要である。

## 代表的な材料と熱伝導率測定手法



測定対象の材料(熱伝導率)や試料厚み、測定方向など、目的に応じて最適な手法を選択する必要がある。

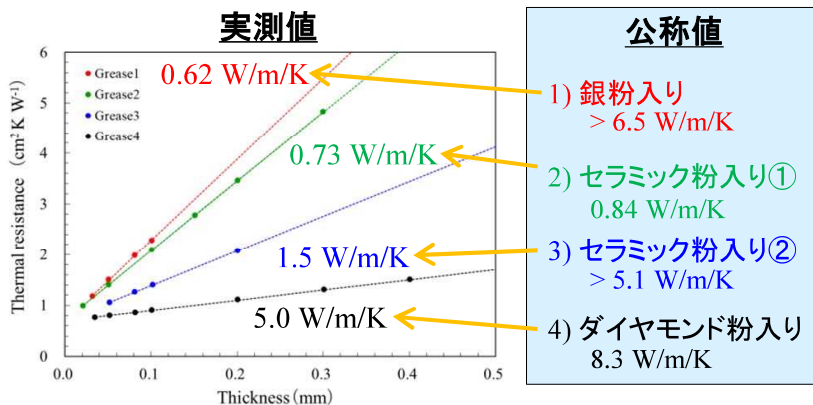
## 熱物性値の温度依存性



熱伝導率は密度・比熱容量・熱拡散率の積により求められる。300℃の熱伝導率は室温の値と比べて2/3程度まで低下する。放熱性が求められる用途では、高温下での熱伝導性の低下に注意が必要である。

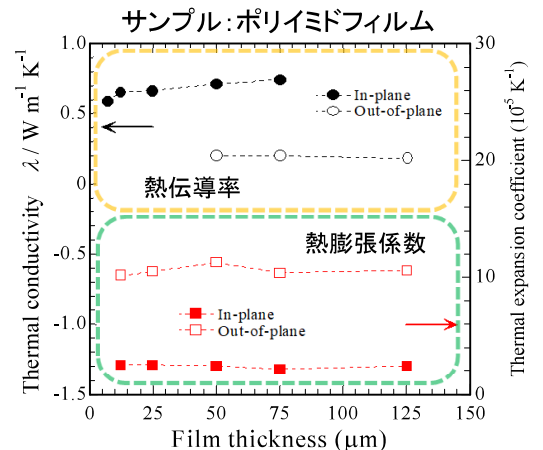
## 公称値と実測値の比較

定常法(厚み変化法)で熱伝導グリスの熱伝導率を測定



測定時の状態などに依存して実測値が公称値よりも小さくなることもあるため、使用時の状態に近い手法での評価が推奨される。

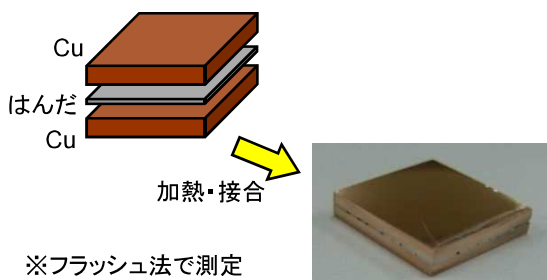
## 熱伝導・熱膨張の異方性



ポリイミドフィルムの熱伝導率と熱膨張係数は厚み方向と面内方向で差が生じている。分子の配向などに起因するものと考えられる。

## 接合による熱伝導性の変化

銅板をはんだで接合した試験片の実質の熱伝導率は接合時の欠陥や界面の影響で低下している。



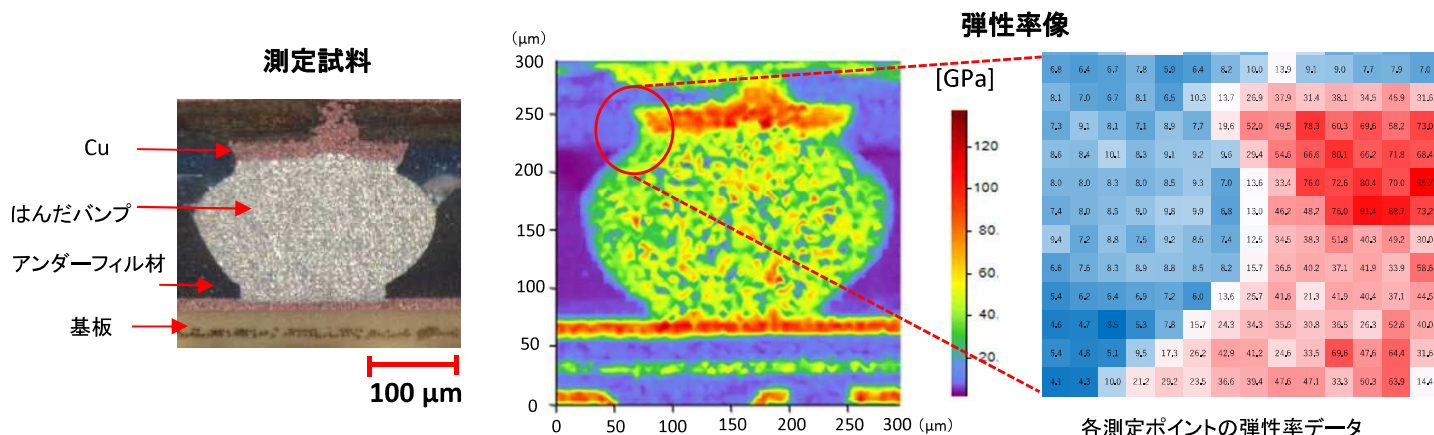
サンプル組成	熱伝導率 /W m <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup>		組成(文献値)
	実測値	文献値	
Sn60%, Pb40%	26	51	Sn63%, Pb37%
Sn96.5%, Ag3.5%	25	33	Sn96.5%, Ag3.5%
Sn99%, Ag0.3%, Cu0.7%	30	64	Sn95.2%, Ag3.8%, Cu1.0%

# ナノインデントーションによる物性マッピング

ナノインデントーションの高速測定機能を用いることで、材料の硬度、弾性率等の詳細な機械特性マッピングを取得することが可能となった。本機能を用いて力学特性の分布や微小領域の詳細解析を行った事例を紹介する。

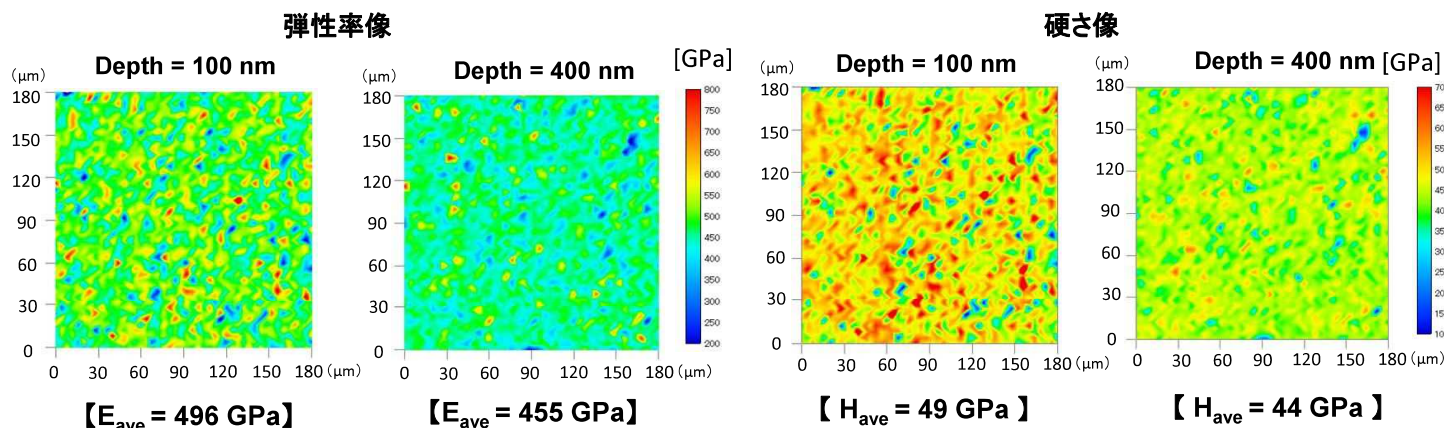
## 実装基板断面の機械特性解析(プリント基板断面)

- 300  $\mu\text{m}$ 口を5  $\mu\text{m}$ 間隔で連続測定(測定点=3721点)  
実装基板内部の機械特性分布が把握可能かつ各部位の詳細なデータをご提供可能。



## 深さ方向での物性値比較(焼結体SiC)

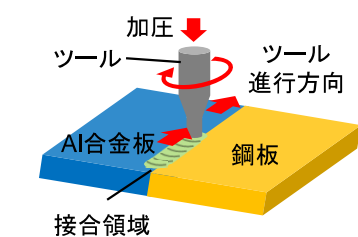
- 180  $\mu\text{m}$ 口を4  $\mu\text{m}$ 間隔で連続測定(測定点=2116点)  
最表層と試料内部の物性値が異なることがある。任意の深さに対して同視野のマッピングが取得可能。



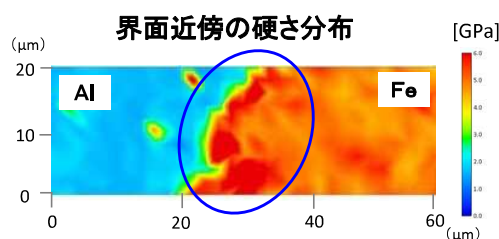
## 接合界面付近の機械特性および金属組織評価例

接合界面近傍の硬さおよび結晶粒径分布の評価(断面方向からの評価)

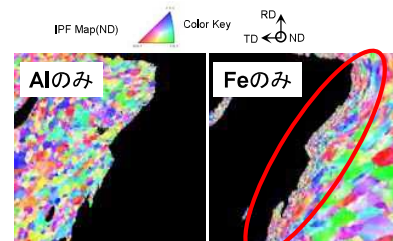
界面近傍の粒子径分析(EBSD)



摩擦攪拌接合(FSW)した異種金属界面



Al/Fe界面よりFe側 数 $\mu\text{m}$ の領域が最も硬い

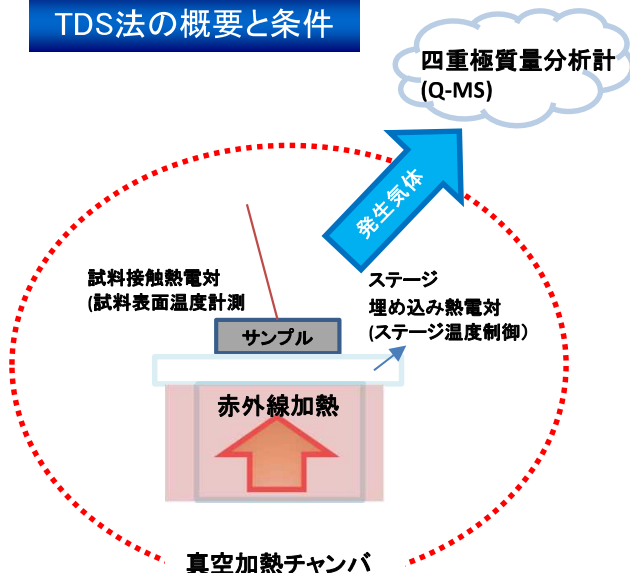


界面近傍のFeでは、結晶粒サイズが非常に小さい

# TDSによるSi基板上薄膜のH<sub>2</sub>O分析

無機系薄膜のキュア、アニール条件による脱離成分や吸湿特性を把握することは、半導体分野だけでなく、有機ELを含むディスプレイの分野においても重要である。特に、水分量を把握することは歩留まり改善に繋がる可能性もある。TDS(Thermal Desorption Spectrometry)は超高真空中・高感度で無機系薄膜からのH<sub>2</sub>Oの脱離挙動を捉えることができ、東レリサーチセンターでは他手法との組み合わせや豊富なデータベースを用いた総合的な解析も可能である。

## TDS法の概要と条件



### ★特徴

- ✓ 超高真空中で試料を加熱した際に脱離する気体の温度依存性が観測できる。(何°Cでどんな成分が脱離しているか)
- ✓ 脱離気体をダイレクトに質量分析計に導入するため高感度(H<sub>2</sub>O下限:  $1 \times 10^{13}$  molecular/cm<sup>2</sup>)

### ★条件

- ✓ 真空度  $1 \times 10^{-7}$  Pa
- ✓ 選択可能質量数:  $m/z$  2~200
- ✓ 温度 ステージ温度: 室温~1200°C  
試料表面温度: 室温~900°C※1
- ✓ 試料 基板※2上の薄膜

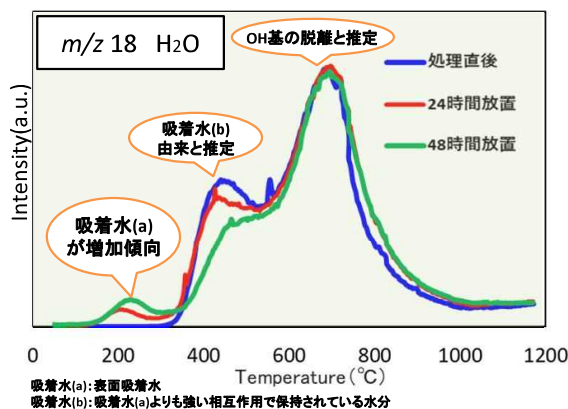
※1 Si基板の場合

※2 赤外線を吸収しないガラス基板も対応可

## 測定例

### ■ アニール処理薄膜の水分吸着挙動解析

試料: SiO<sub>2</sub>膜(膜厚: 1 μm) 3条件  
 ・300°Cアニール処理直後・24時間放置・48時間放置  
 ※実験室(23°C, 50%RH)下にて放置試験を実施※

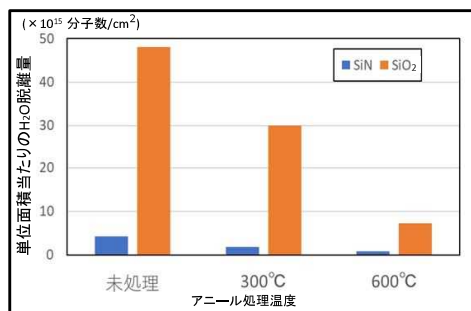
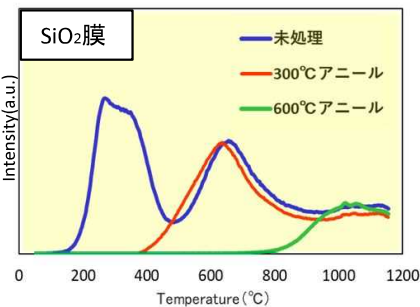
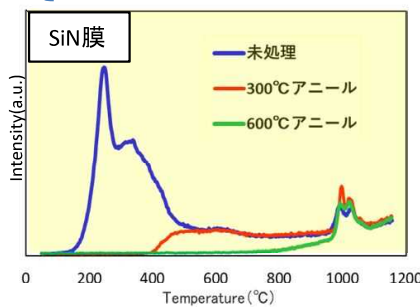


放置する時間が長くなるほど、吸着水が増加  
 (処理直後 < 24時間放置 < 48時間放置)

種々の膜で実施することにより、『吸湿特性』  
 を比較することが可能

### ■ 各薄膜における水分脱離挙動比較とアニール条件検討

試料: SiN膜(膜厚: 1 μm)、SiO<sub>2</sub>膜(膜厚: 1 μm)  
 未処理、300°Cアニール、600°Cアニール  
 ※各温度(300°C, 600°C)でアニール後、装置内で冷却し再昇温※



- ① アニール処理によって水分脱離量が大きく減少  
→ 残存水分を把握することにより、『アニール条件の妥当性』を確認
- ② 膜種の違いによる脱離挙動の差を比較できる

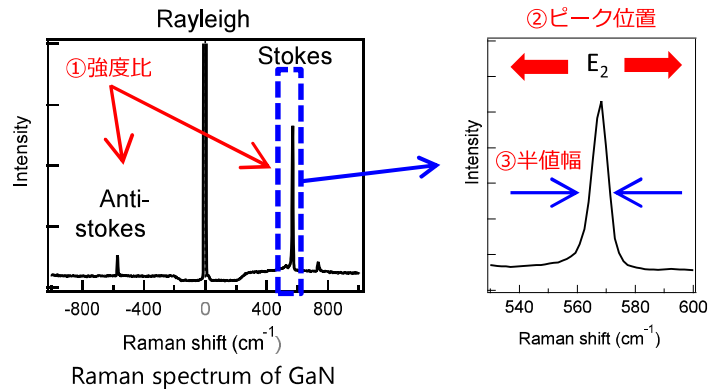
『保管条件』や『アニール条件』の検討に、TDSによる高感度水分(H<sub>2</sub>O)分析が有用

# ラマン分光法による 先端パワーデバイスの局所温度計測

ラマン分光法は温度に敏感な手法であり、試料の温度変動によって強度比や線幅、ピーク位置など様々なスペクトル変化が生じる。ここでは、先端パワーデバイスの動作時における温度をラマン分光法にて評価した事例を紹介する。

## ラマン分光法による温度の算出

- ◆ ラマン分光法を用いることで高い空間分解能（1  $\mu\text{m}$ 以下程度）でデバイス中の局所的な温度測定が可能
- ◆ ラマン分光法では以下の3つの方法により、デバイス動作中の状態でチップ温度の算出が可能
  - ① ストークス線とアンチストークス線の強度比
  - ② ピーク波数位置のシフト
  - ③ ピーク半値幅の変化
- ◆ いずれの方法についてもメリット・デメリットが存在し、どの方法を用いるかについては測定対象や試料構造などから最適なものをご提案

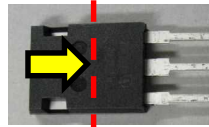


東レリサーチセンターでは高精度ラマン装置を用いることで、局所領域の精密な温度計測が可能

## SiC MOSFET動作時の温度測定

Sample : Commercially available SiC MOSFET discrete package (1200 V)

- ◆ チップ端部が露出する位置にて断面を作製
- ◆ 断面加工前後でIV特性に変化がないことを確認して測定
- ◆ 今回はラマン線半値幅を高精度で測定することにより、動作時の温度を算出

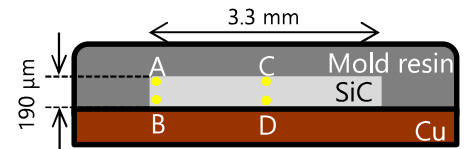


Cutting position and measurement direction

Electrical condition  
 $V_{GS} = 10 \text{ V}$   
 $I_{SD} = 0\text{--}8 \text{ A}$

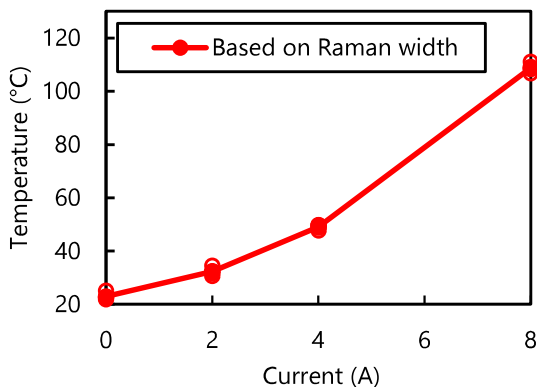
$V_{GS}$ :ゲート-ソース間電圧  
 $I_{SD}$ :ソース-ドレイン間電流

Raman measurement positions



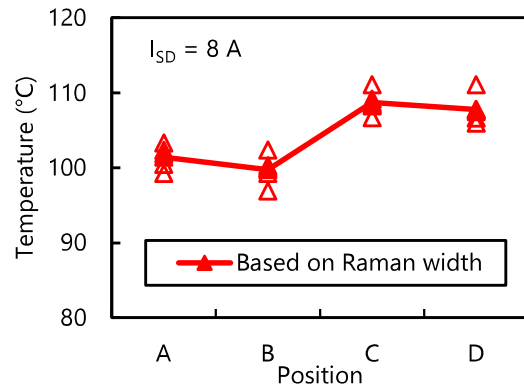
Schematic cross-sectional image of a sample

### 通電時温度の電流依存性 (Point C)



- ◆ 電流量に応じて温度が上昇していることが確認できる
- ◆ 今回の場合、 $\pm 2^\circ\text{C}$ 程度の精度で測定

### 通電時温度の場所依存性



- ◆ チップ中央の方がチップ端部に比べて温度は高い傾向  
 ⇒ チップ中心付近の方が動作時の発熱が大きい

実測された温度はシミュレーション解析やデバイスの放熱設計の指針として利用可能

# 先端パワーデバイス開発を支援する ルミネッセンス分析

ルミネッセンス法は高感度で半導体中の結晶欠陥を評価できる手法である。しかし、材料ごとに最適な測定・解析条件は異なり、また得られる情報も必ずしも同じではない。ここではフォトルミネッセンス(PL)イメージング、顕微PLスペクトル、カソードルミネッセンス(CL)について紹介する。

## 各種ルミネッセンス法の比較

	PLイメージング	顕微PLスペクトル	CL
得られる情報	強度像 (欠陥、キャリア濃度等)	スペクトル (欠陥同定, エネルギー準位)	強度像、波長像、スペクトル
測定範囲	100 $\mu\text{m}$ 角~ウェハ全面	数 $\mu\text{m}$ ~数 cm角程度	1 $\mu\text{m}$ 角~1 mm角程度
イメージ測定	◎	△	○
分光測定	△(フィルタ分光)	◎	◎
特徴	大面積	スペクトル詳細解析、 温度変化測定(20~600 K)	微小部、ワイドバンドギャップ、 低温測定(30~300 K)、極表面

## 測定例

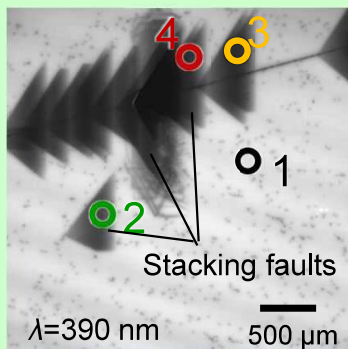


Fig. 1 PL image of 4H-SiC.

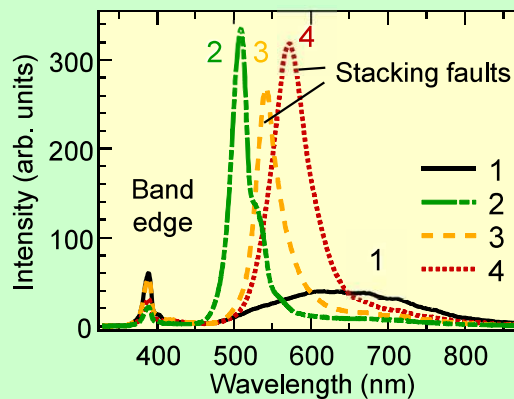


Fig. 2  $\mu$ -PL spectra at points 1-4 in Fig. 1.

- PLイメージングからは、結晶欠陥(積層欠陥、転位等)の空間分布を知ることができる。
- 顕微PLスペクトル測定と合わせることで欠陥の詳細な解析が可能となる。
- いずれも非破壊分析であり、その後TEMやSIMS等の分析に進むことが可能である。

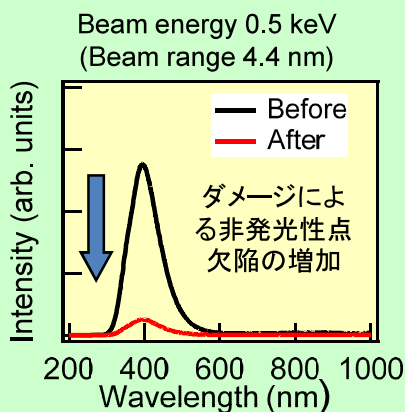


Fig. 3 Low-energy CL spectra of  $\beta$ -Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> before and after dry etching process.

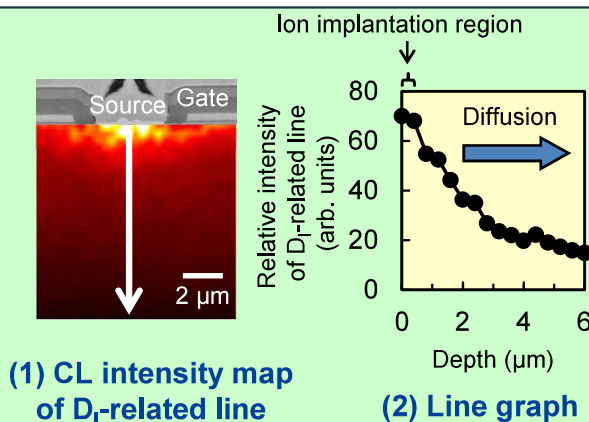


Fig. 4 Low temperature cross-sectional CL in 4H-SiC MOSFET. Point defects induced by ion implantation are clearly observed.

- 低加速CLにより、試料表面に生じたドライエッチングダメージを感度よく捉えることができる。
- 断面CLマッピングからイオン注入により生じた欠陥の分布を調べることができる。この例では、活性化アニール後も残留点欠陥(D<sub>1</sub>欠陥)が存在しており、さらに注入領域を超えて深さ6  $\mu\text{m}$ 付近まで拡散している。



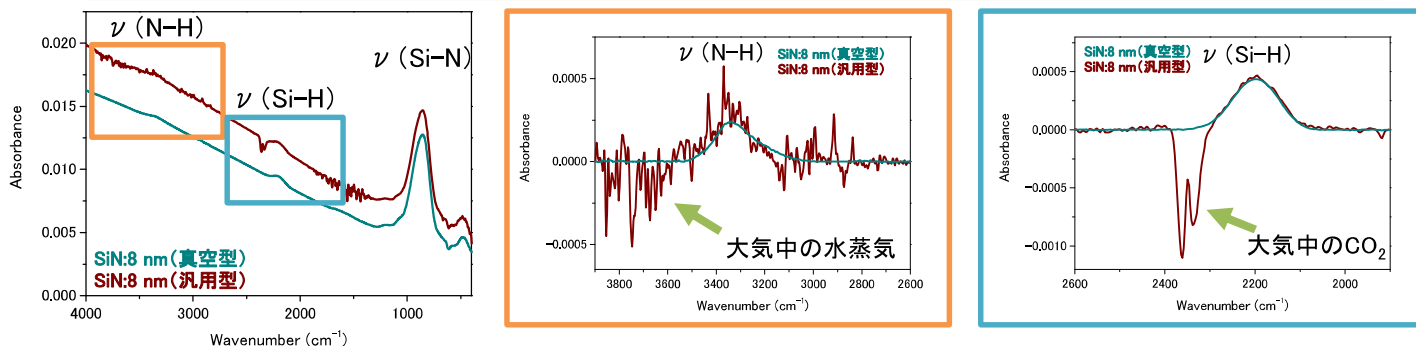


# 赤外分光法による極薄膜の構造解析

赤外分光(FT-IR)法は、各種結合の定量分析が可能な手法である。半導体で用いられる絶縁膜の官能基量は膜特性に寄与するため、その量を精度よく把握することは重要である。東レリサーチセンターでは、10 nm未満の極薄膜試料に対しても高感度かつ高精度の測定が可能である。

## 1. 雰囲気制御による高精度測定

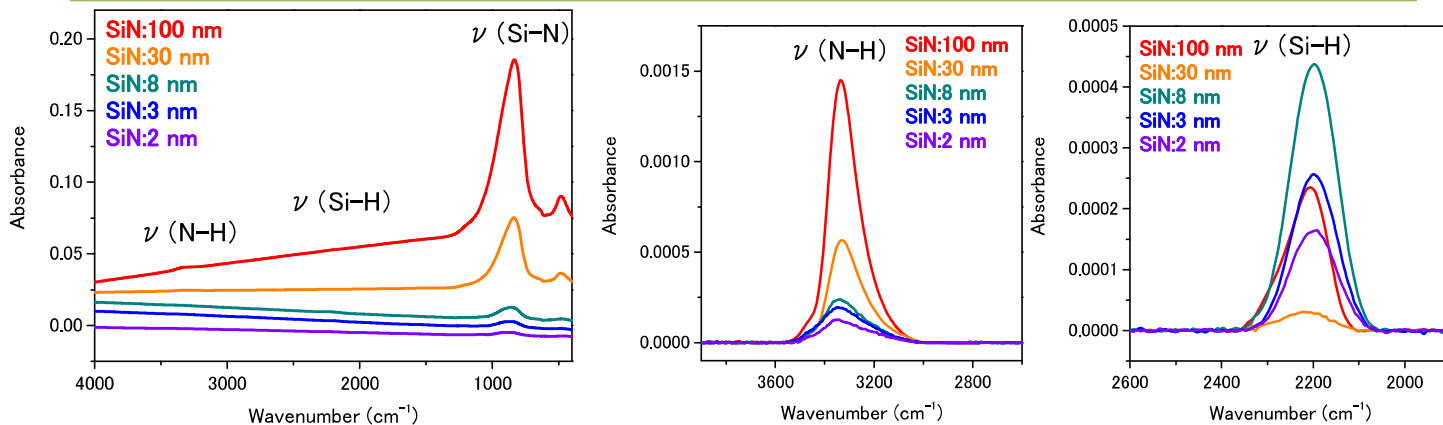
汎用型(大気型、N<sub>2</sub>パージ)と真空型の装置で測定した8 nmの窒化膜試料のスペクトル比較を行った。



- 真空型装置では大気の影響が低減される
- サンプル測定とRef.測定の雰囲気制御によりスペクトルの精度が高くなる

## 2. 窒化膜(SiN)の解析事例

膜厚が100 nm、30 nm、8 nm、3 nmおよび2 nmと異なるSiN膜試料について解析した事例を以下に示す。



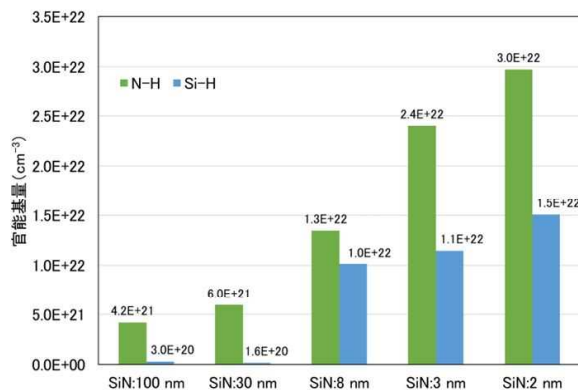
- 各官能基の積分強度と膜厚より定量換算できる。試料間の官能基量の序列を以下に示した。膜厚の異なる試料でも、官能基量の試料間差を議論できるデータの取得が可能である。

NH基量:

SiN:2 nm > SiN:3 nm > SiN:8 nm > SiN:30 nm > SiN:100 nm

SiH基量:

SiN:2nm > SiN:3 nm > SiN:8 nm > SiN:100 nm > SiN:30 nm



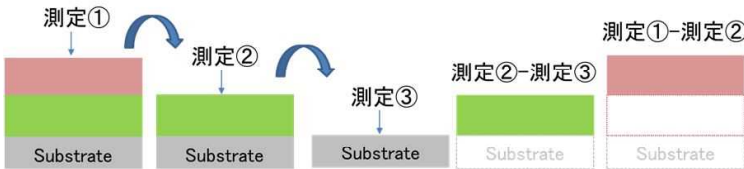
**FT-IRでは極薄膜(10 nm未満)サンプルに対しても有用なデータ取得が可能!**

# 極薄積層絶縁膜の深さ方向官能基量評価

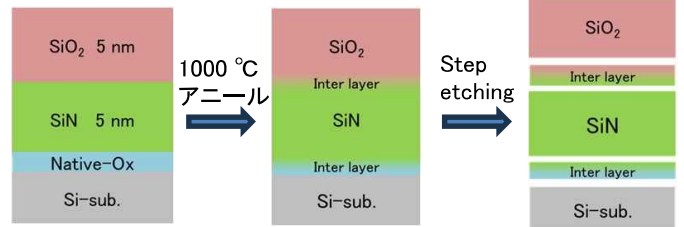
半導体デバイス構造の微細化や積層化に伴い、極薄膜の膜質や高度な界面の制御が要求されている。ここでは、アニール前後における極薄積層絶縁膜中の主成分結合や官能基量変化を、高深さ分解能で評価するために前処理法とXRR/FT-IR測定を組み合わせた事例を紹介する。

## Step etching処理

◆ 測定データの差を取ることで任意の深さ情報を取得可能



◆ アニール処理とStep etchingによる深さ方向分割イメージ

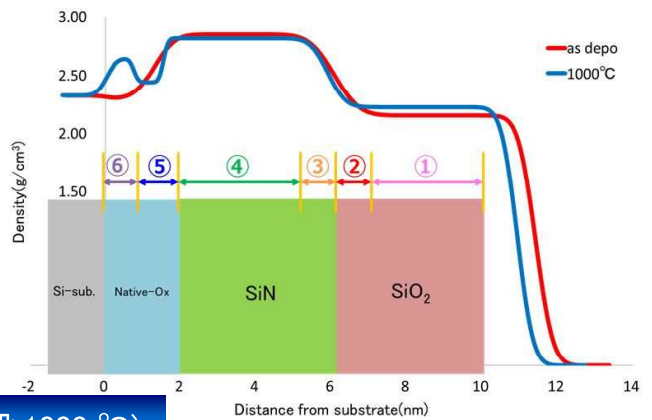


## XRRを用いた深さ方向分割領域決定

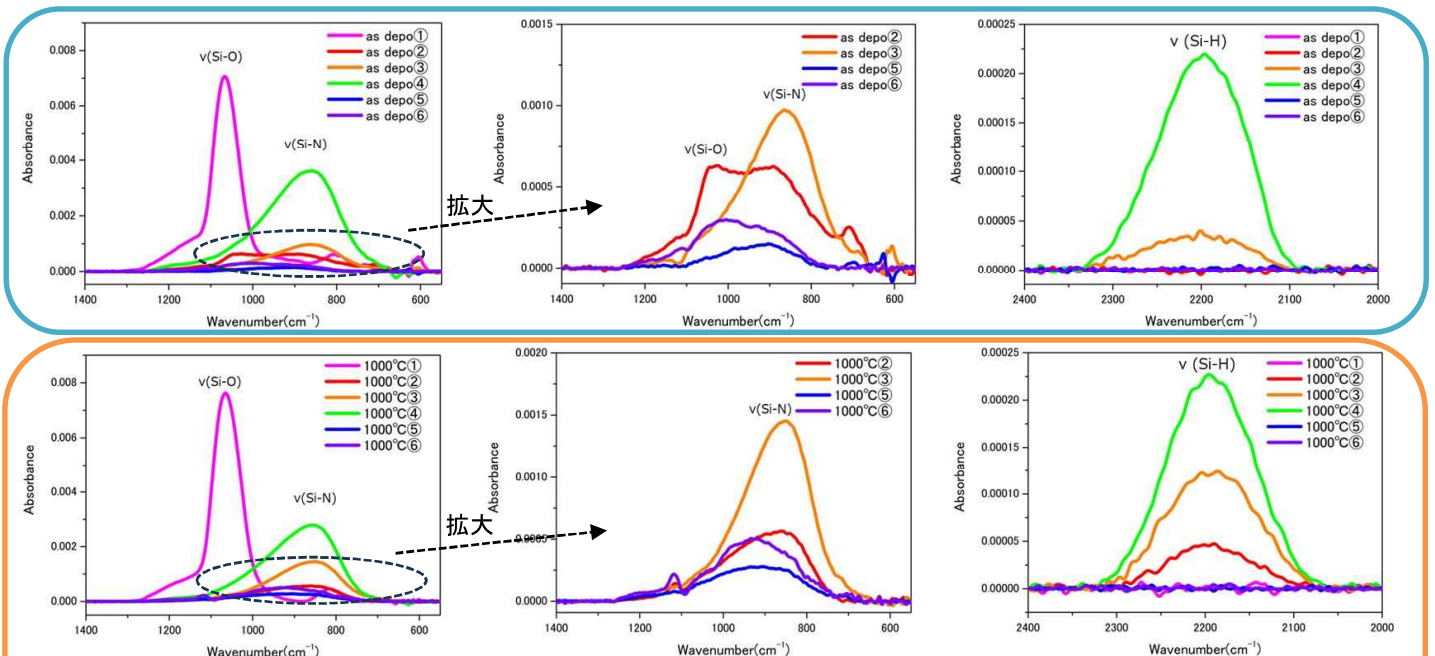
XRRによる深さ密度分布図を参考に分割領域を①~⑥に決定

Step etching処理とXRRを組み合わせ、膜中深さ方向をサブnmオーダーで制御

各領域でのFT-IR測定により結合・官能基量評価



## 各深さ領域におけるFT-IRスペクトル(上段:as depo 下段:1000 °C)



- SiN/SiO<sub>2</sub>界面: SiO<sub>2</sub>とSiNのミキシング層から、SiO<sub>2</sub>成分が減少あるいはSiON化。それに伴い密度遷移状態も変化。
- SiN層: Si-H基が増加し、低密度化。Si-N-Siネットワーク構造変化やSiの対電子がHで終端された可能性。
- Native-Ox層: SiO<sub>2</sub>ではなくSiON。アニール前後でのSi基板側とSiN膜側におけるSiON組成比変化が、密度差に反映。

Step etching処理とXRR/FT-IR測定を組み合わせることにより、密度変化とその要因である結合や官能基量を高深さ分解能で評価することが可能

# ESR法によるSiN膜中の欠陥量の深さ方向分析

SiN膜中の欠陥量は電気特性や熱伝導特性に影響するとされる。ESR法は膜中の欠陥(ダングリングボンド)量評価に用いられるが、東レリサーチセンターではエッチングとESR測定を組み合わせた「深さ方向分析」も可能であり、今回SiN薄膜(18.6 nm)の分析事例を紹介する。

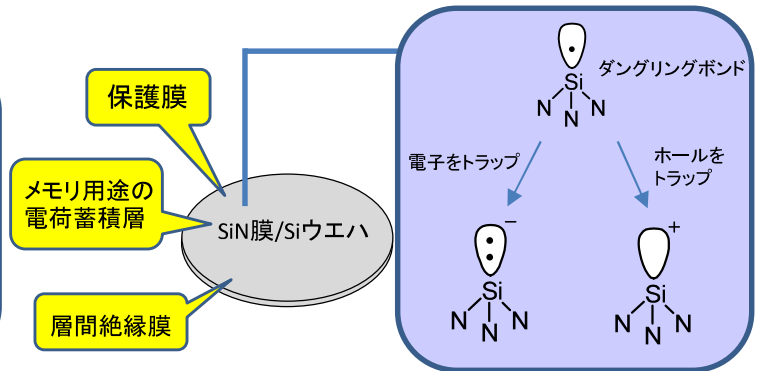
## SiN膜中のダングリングボンド量の重要性

### SiN膜

- 半導体産業において重要な膜種
- ダングリングボンドはチャージトラップになるため電気特性に影響するとされる ([1] ダングリングボンドの役割を計算科学で調べた文献)
- ダングリングボンド量の深さ方向分布も電気特性に影響すると考えられる ([2] ダングリングボンドが導電バスになっている事を示した文献)

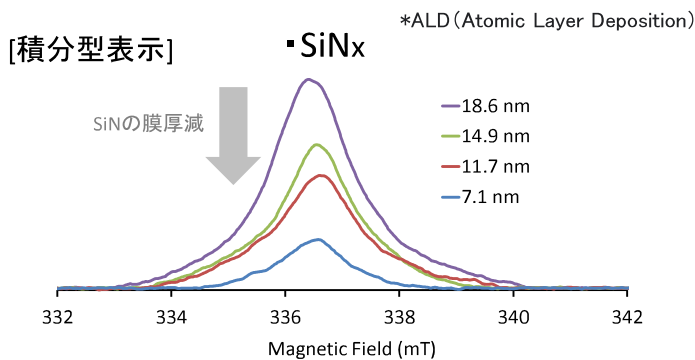
→ ESR法による深さ方向評価法の確立

- [1] E. Vianello et al., *IEEE Transactions on electron devices* **58**(2011)2490.  
 [2] T. Chen et al., *Nanomaterials* **13**(2023)85.

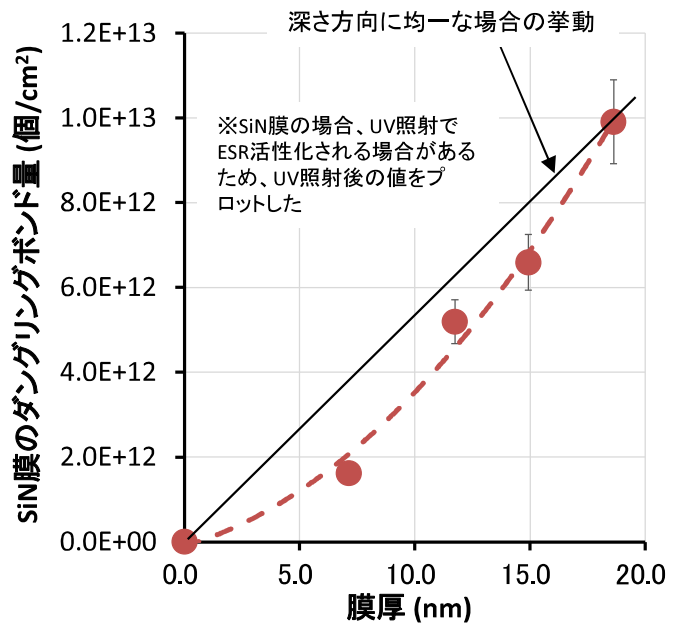


ダングリングボンドは電子やホールをトラップとされている

## ALD\* 成膜SiN/SiのESRスペクトル(膜厚依存性) エッチング前のSiN膜厚: 18.6 nm

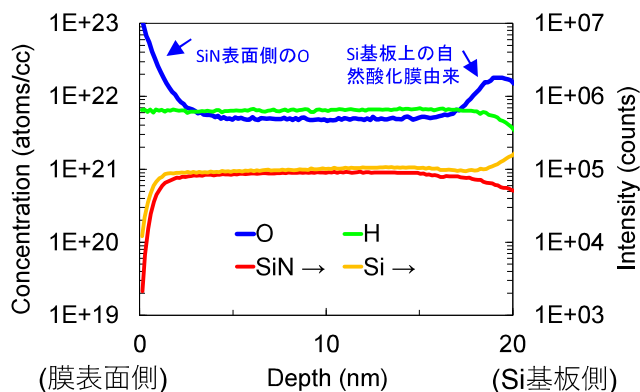


## ダングリングボンド量の膜厚依存性



ダングリングボンドは膜表面側で多い傾向  
 ⇒ SiN表面が酸化されている事が影響している可能性あり

## SIMS分析結果



特に膜表面側でO濃度が高く、SiN表面が酸化されている事がわかる

20 nm程度の薄膜や  
 SiO<sub>2</sub>/SiNなどの積層膜でも  
 評価可能!

# DLTSを用いたSiO<sub>2</sub>/GaN MOSキャパシタの界面および酸化膜中トラップ準位解析

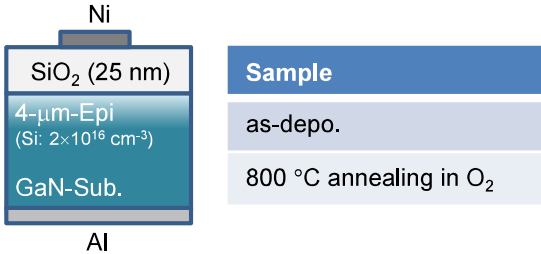
金属-酸化膜-半導体(MOS)構造を有するGaNパワーデバイスの特性向上のため、MOS界面付近に形成される電荷捕獲(トラップ)準位の理解と制御が不可欠である。以下、GaN-MOSキャパシタにDLTSを適用し、界面および酸化膜中トラップ準位のエネルギー値や量を詳細に調べた事例を紹介する。

## 1. GaN-MOSキャパシタ

高性能縦型GaN-MOSFETへの期待  
ノーマリーオフ動作、高耐圧、高温駆動

課題  
低チャネル移動度、しきい値電圧シフト、  
低信頼性(界面特性劣化)  
⇒ MOS界面のキャリアトラップ挙動の理解が必要。

評価サンプル(GaN-MOSキャパシタ)

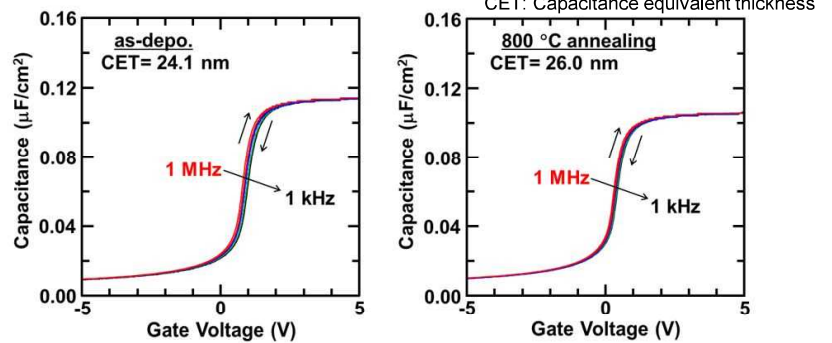


MOS: Metal-Oxide-Semiconductor, DLTS: Deep Level Transient Spectroscopy

本研究は大阪大学大学院工学研究科 物理学系専攻 精密工学コース 先進デバイス工学領域 渡部 平司 教授との共同研究の元で進めさせていただきました。掲載データは下記原著論文からの抜粋となります。(再掲許可取得済み)

S. Ogawa et al., J. Appl. Phys. 134, 095704 (2023).

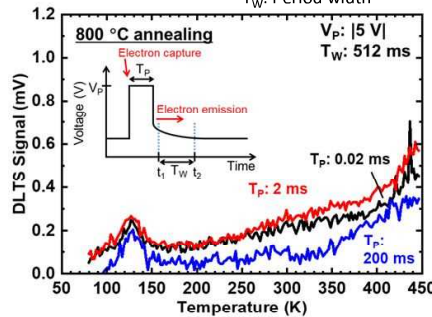
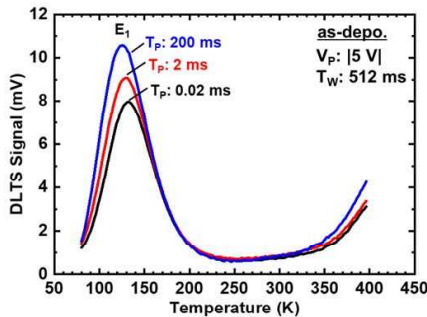
GaN MOSキャパシタのC-V特性



・800 °Cアニール後に周波数分散が減少。  
⇒ MOS界面におけるキャリア注入抑制(絶縁特性向上)に起因すると推定。

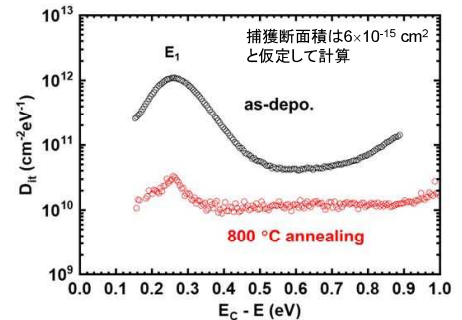
## 2. DLTSによるトラップ準位解析

容量一定(Constant Capacitance: CC)DLTS測定結果



T<sub>p</sub>: Pulse width  
V<sub>p</sub>: Pulse bias  
T<sub>w</sub>: Period width

DLTS結果(T<sub>p</sub>: 0.02 ms)から求めた  
界面準位密度(D<sub>it</sub>)



800 °Cアニールの効果

・as-depo. と比べて、一桁程度のD<sub>it</sub>低減。  
⇒ 界面特性の向上。C-V特性との相関。

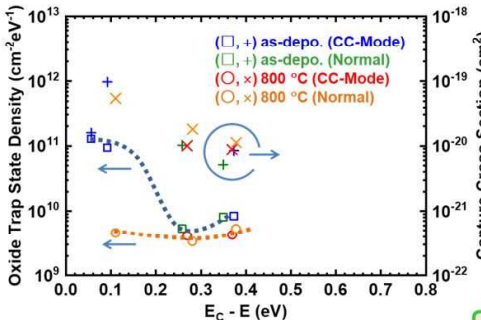
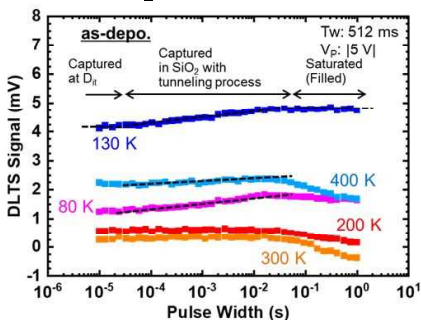
as-depo. 試料の結果特徴

・130 Kと400 K付近のDLTS強度が高い。⇒ トラップ準位の特徴的なエネルギー分布。  
・パルス幅(T<sub>p</sub>)が大きいかほどE1強度増加。⇒ SiO<sub>2</sub>/GaN界面だけでなくSiO<sub>2</sub>膜中のトラップ準位も検出。

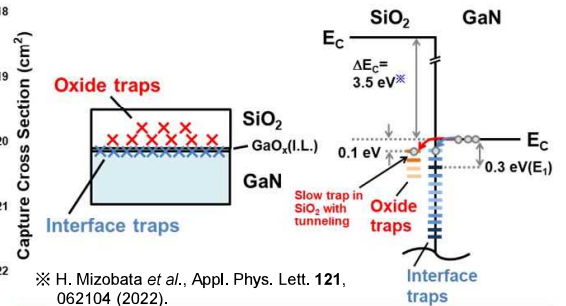
## 3. パルス幅(T<sub>p</sub>)依存性測定による酸化膜中トラップ準位解析

DLTS信号のT<sub>p</sub>依存性測定結果 (as-depo.)

算出した酸化膜中トラップ準位と捕獲断面積



as-depo. のDLTS結果を元に導出した  
トラップ準位のエネルギーダイアグラム



※ H. Mizobata et al., Appl. Phys. Lett. 121, 062104 (2022).

DLTS信号のT<sub>p</sub>(指数)線形プロットから酸化膜中トラップ準位のエネルギー値、密度、捕獲断面積を算出。

as-depo. は伝導帯下端近傍(0.1 eV)の酸化膜中トラップ準位密度が高い。

DLTSにより、MOSデバイスの界面と酸化膜中トラップ準位を高感度で詳細に調べることができる。

# 最新XPS装置導入！ - 深さ感度を変えた元素組成・化学状態分析 -

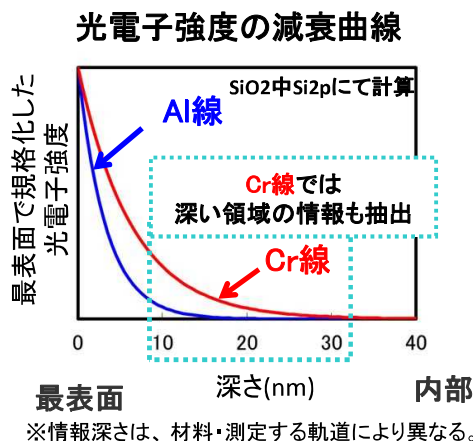
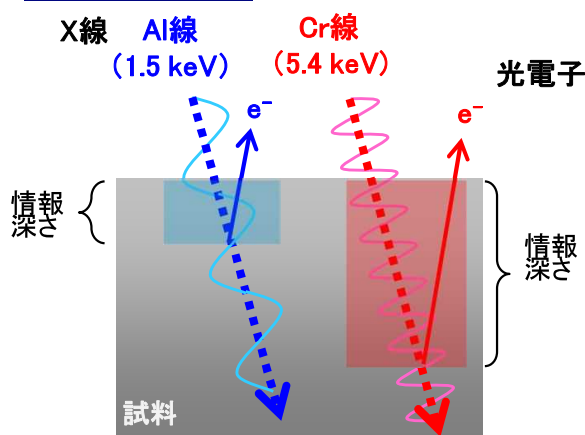
2線源(AI線、Cr線)搭載した最新XPS装置を導入しました。Cr線XPSは、広く用いられているAI線XPSに比べ、深い領域の元素組成・化学状態が得られます。東レリサーチセンターでは、放射光XPS(HAXPES)の長年の経験も踏まえ、本装置によりお客様の目的に沿ったXPS分析をご提案いたします。

## 1. 機能と特徴

- 2線源の使い分けによる**深さの感度を変えたXPS分析**
- これまで困難であった**深い領域での元素組成の定量分析**
- **GCIB(ガスクラスタイオンビーム)**による数十 $\mu\text{m}$ パターンの有機デバイスの深さ方向分析、無機材料表面クリーニング
- サンプルングから測定まで**大気非曝露対応可能**



## 2. 情報深さ



### 情報深さ

Al線: ~約10 nm  
Cr線: ~約30 nm

- 最表面、表面変化層 → Al線を利用
- 表面汚染情報を軽減、内部の情報に注目 → Cr線を利用

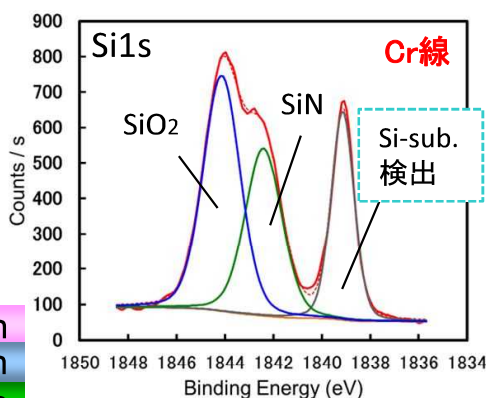
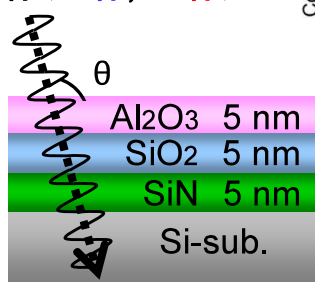
Cr線は、Al線の約3倍の情報深さ

## 3. 適用例

### ・半導体

例) 積層膜の評価

X線(AI線, Cr線)



### 元素組成 (atomic%)

	C	N	O	Al	Si
Al線	9.3	1.5	58.4	23.6	7.3
Cr線	5.8	9.6	40.6	16.9	27.1

- Al線: 表層側(Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)の情報が強調
- Cr線: 表面汚染由来炭素の情報軽減  
深い領域(SiN, Si-sub.)の情報も明瞭に検出

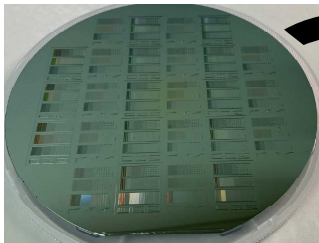
複数の検出角度( $\theta$ )にて測定する“角度分解XPS”により各化学状態の深さ方向濃度変化解析も可能である。

東レリサーチセンターでは、各種材料の浅い領域から深い領域の目的深さにあった元素組成・化学状態分析が可能になりました。

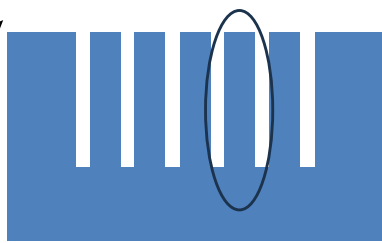
# マイクロXAFSによるトレンチ構造側壁 TiNコート層の化学状態評価

半導体の微細化が限界に近づいており、集積度を高める目的で3次元構造化が重要となっている。このような複雑な構造に適用可能な分析評価手法は限られているが、マイクロXAFSは3次元構造体の側壁部分のような微少領域の化学状態の評価が可能である。

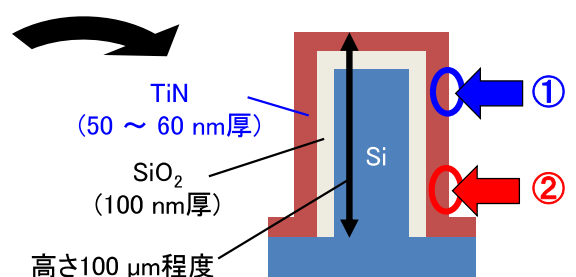
**1. トレンチ構造** トレンチ構造の側壁に成膜されたTiN層について断面方向から状態評価を実施。



6インチSiウェハにテストパターン形成  
/ TEG(Test Element Group)ウェハ

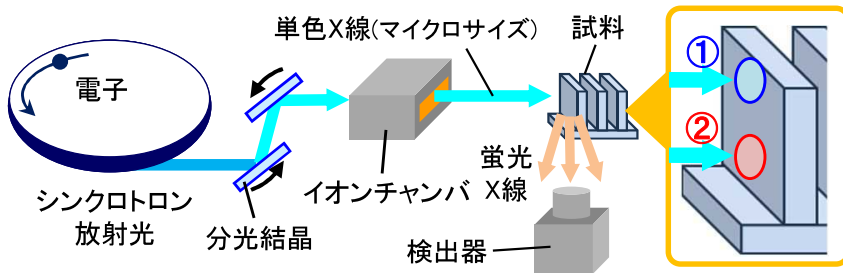


TiNが成膜されたトレンチ構造  
(3次元多層構造における  
電極やバリアメタルを想定)



高さ100  $\mu\text{m}$ 程度

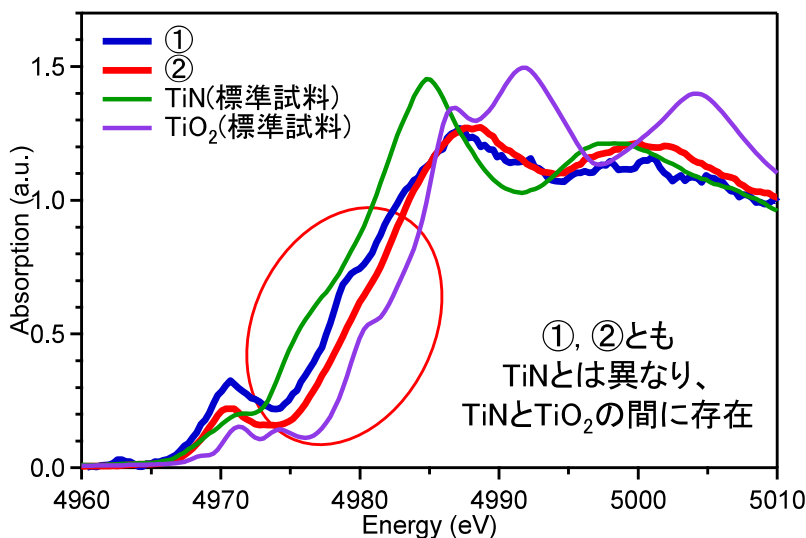
**2. XAFS** XAFS/X線吸収微細構造(X-ray Absorption Fine Structure)



- ✓ 着目元素の化学状態や配位環境が評価可能。
- ✓ 均一なベタ膜表面だけでなく、構造体における側壁露出部や埋もれた構造における状態評価が可能。
- ✓ 側壁上部(①)および下部(②)に20  $\mu\text{m}$   $\Phi$ 程度のX線を横方向から照射しTi K端XAFS評価(マイクロXAFS)

**3. マイクロXAFSによるトレンチ構造側壁評価**

XAFSスペクトルのうち、吸収端近傍のXANES領域を評価(X-ray absorption Near Edge Structure)



- ✓ 赤丸部のエネルギーはTiN < TiO<sub>2</sub>  
(立ち上がりエネルギーは化学状態に依存)
- ✓ ①, ②ともに、十分に窒化しているとは言え難く酸化成分の混在が示唆される。  
酸化度は① < ②

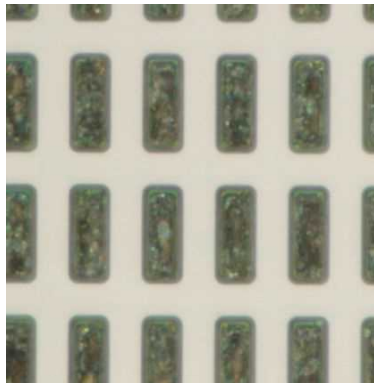
フィッティング結果  
(XANES線形結合フィッティング)

	窒化成分	酸化成分
①	68 %	32 %
②	49 %	51 %

露出した側壁部もしくは埋め込まれたトレンチ構造を含むパターンニング試料においてXAFSによる金属元素の化学状態評価により、内壁の成膜の良否が議論可能である。

# TOF-SIMSによるSiC-MOSFETの パッシベーション膜～ゲート部の深さ方向分析

空間分解能の高いTOF-SIMSを用いて、SiC-MOSFETの微小領域(ゲート部)における、パッシベーション膜からSiCエピ膜までのデプスプロファイルを取得することができる。



二次イオン抽出領域  
(約1 × 40 μm)

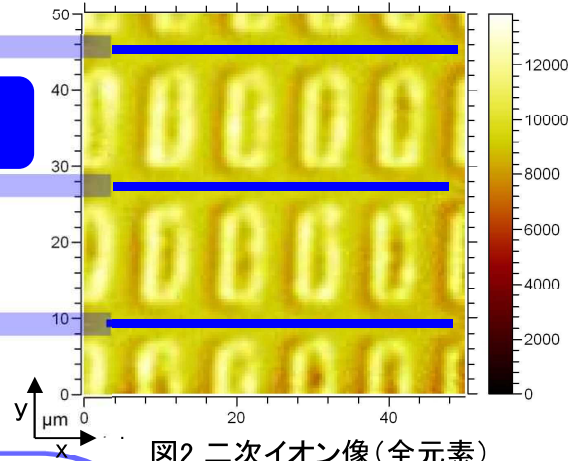


図1 電極除去後の分析箇所光学顕微鏡写真

図2 二次イオン像(全元素)

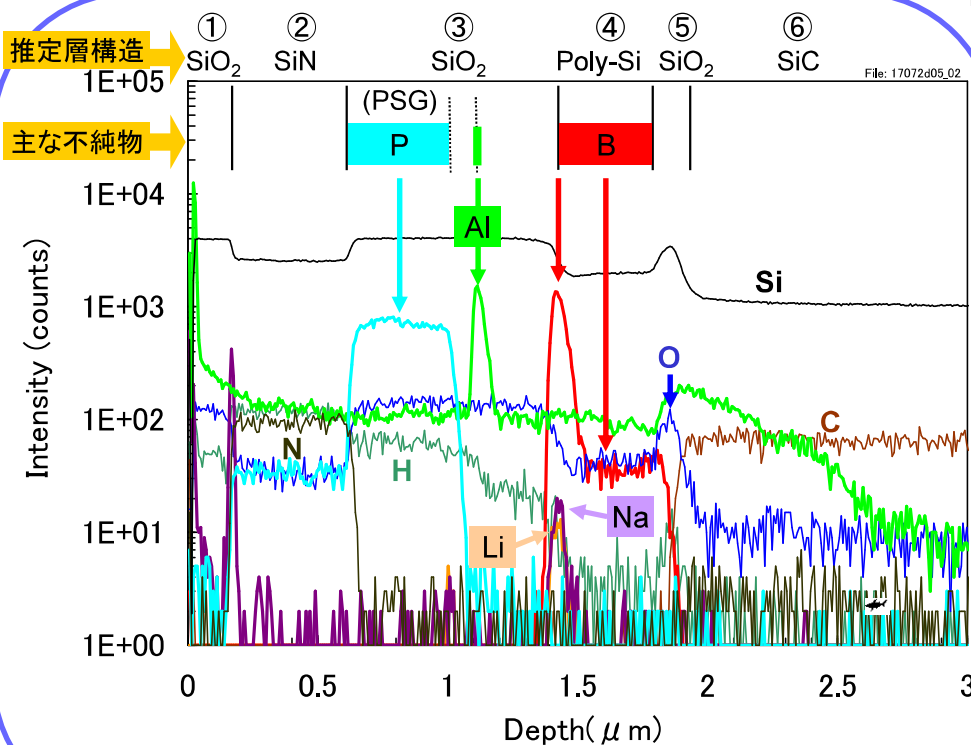


図3 ゲート部分のデプスプロファイル(図2青色領域より抽出)

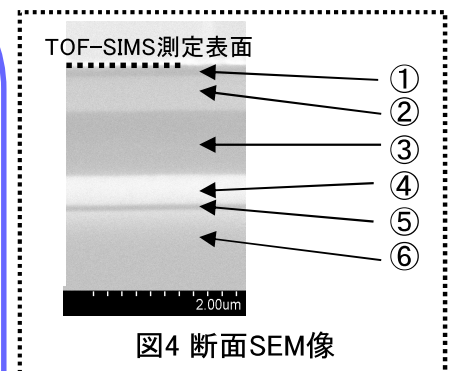


図4 断面SEM像

ゲート部の一部から二次イオンを抽出し、デプスプロファイルを構築したところ(図3)、パッシベーション膜の組成、膜中および界面の不純物の情報が得られた。層構成は、同箇所の断面SEM観察結果(図4)とほぼ一致する。

図5の3Dイメージにより、ゲート部およびソース部の元素分布を明確にすることができる。

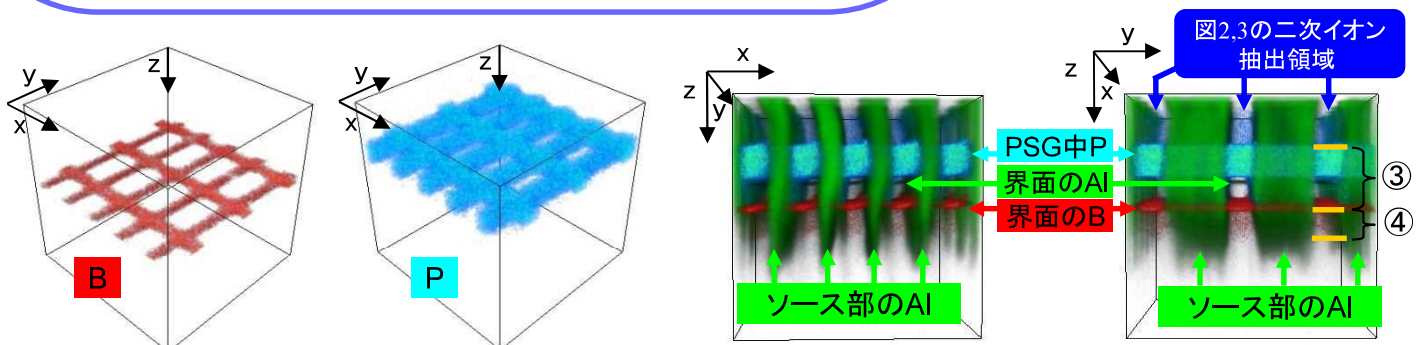
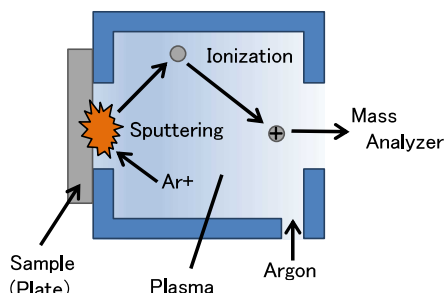


図5 全分析領域の3Dイメージ (右側2つのイメージのソース部Alは、電極成分の残渣と考えられる)

# GD-MSを用いた多種多様な材料の分析

グロー放電質量分析 (GD-MS) は、金属材料や半導体材料等の製造プロセスに必要な原料中の微量不純物分析に非常に有効です。今回、GD-MSで分析可能な材料とその形状についてご紹介致します。分析が困難な試料は、各試料に合わせた東レリサーチセンター独自の特殊サンプリングも検討致します。

## 1. GD-MSの原理



GD-MSはAr雰囲気下で試料を負極としてグロー放電を発生させ、プラズマ内で試料表面をスパッタし、イオン化された構成元素をセクター型質量分析計により分析を行います。これにより、固体試料中のLi~Uまで約70元素の定性ができ、高感度 (ppbレベル) に半定量値を取得することが可能です。

### 【絶縁物の分析について】

GD-MSは、分析試料をグロー放電の負極として用いるため、試料には電気伝導性が必要であり、板状や棒状の絶縁物は分析することができません。一方、絶縁物であっても粉末状の試料であれば、これを高純度金属中に成型することで分析が可能となります。(補助電極法)

## 2. 分析可能な材料と形状

分析可能な形状	板状	棒状	粉末状 <sup>※1</sup>
分析可能な材料	金属、半導体 電気伝導性のある材料のみ分析が可能		金属、半導体、酸化物等 電気伝導性がない材料も分析可
最適試料サイズ、量	30 mm□ or φ × 5 mm <sup>※2</sup>	2 mm φ × 20 mm	粒径 数~数十 μm、2~3 g
想定する下限値 <sup>※3</sup>	0.0X~0.00X weight ppm	0.X weight ppm	0.X weight ppm

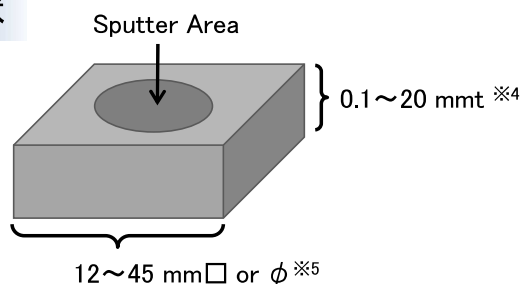
※1: 4NグレードのTa補助電極中に粉末状試料をペレット状に加圧成型して分析を行います (Ta補助電極法)。

※2: 板状試料の分析面は平坦である必要があり、湾曲した試料は分析できません。

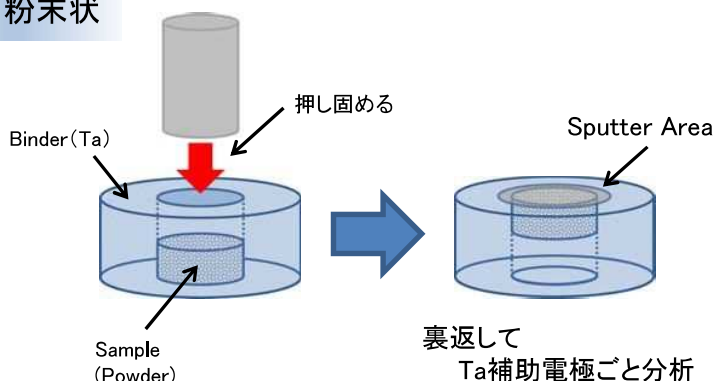
※3: 下限値は放電条件によっては上記よりも悪くなる可能性があります。

また、放電ガスやマトリックス、装置部材等に由来する元素の影響で、微量分析ができない元素があります。

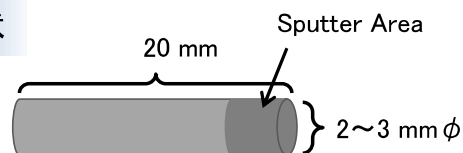
### 板状



### 粉末状



### 棒状



※4: 0.5 mm以下の場合、ご相談ください。

※5: 20 mm□ or φ以下の場合、別途前処理が必要です。

通常、粉末は数g程度の量をTa補助電極内に加圧成型して分析を行います。東レリサーチセンター独自のサンプリング方法で、下記のようなご要望への対応も検討致します！

- ・ Ta補助電極内に成型できない試料の分析
- ・ 試料量が少ない
- ・ Taの分析がしたい 等々

GD-MSは、図に示した事例以外のさまざまな形状の試料についても不純物分析が可能です。粉末状の試料は、通常、Ta補助電極を用いてサンプリングを行います。Ta補助電極を用いたサンプリングや分析が困難な場合、東レリサーチセンター独自の特殊サンプリングを用いた対応も検討致します。是非、ご相談下さい！



# SIMSによるウェハ全厚みの不純物分布評価

前処理+SIMS分析により、通常の深さ方向分析では困難な、広範な深さ領域の不純物分布が評価可能である。今回は、パワー半導体素子(IGBT, MOSFET等)への適用を視野に入れ、Si-MOSFET素子基板、SiCエピ膜/SiC基板中の深さ方向分布を評価した事例を紹介する。

## 1. パワーMOSFET素子基板中のC, O濃度分布評価事例

### ウェハの斜め研磨+SIMSによるライン分析

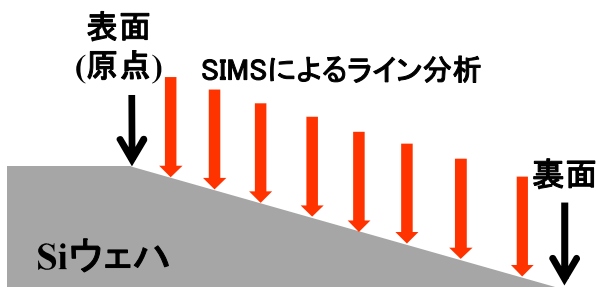


Fig.1 サンプルと分析のイメージ図

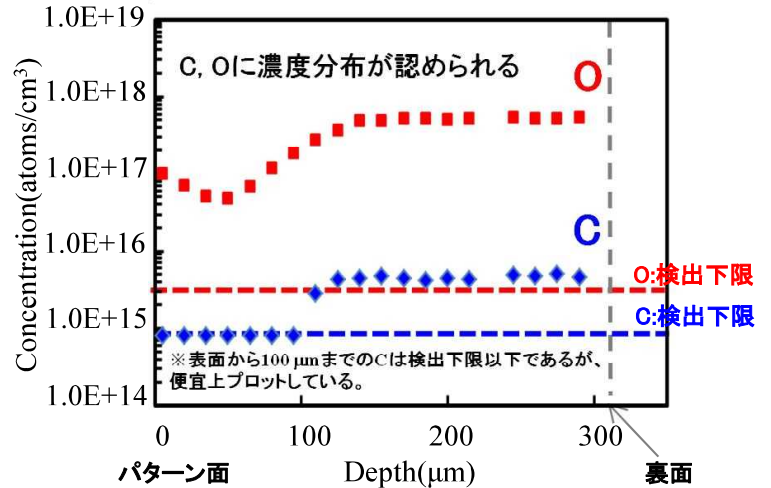


Fig.2 パワーMOSFET素子基板全厚みにおけるC, O濃度分布

**ウェハ全深さの不純物分布評価が可能**

前処理+ライン分析により、通常の深さ方向分析では困難な**基板全深さの不純物濃度分布を捉える**ことが可能

## 2. SiCエピ膜/SiC基板中のN濃度分布評価事例

### 斜め研磨+SIMSによるライン分析

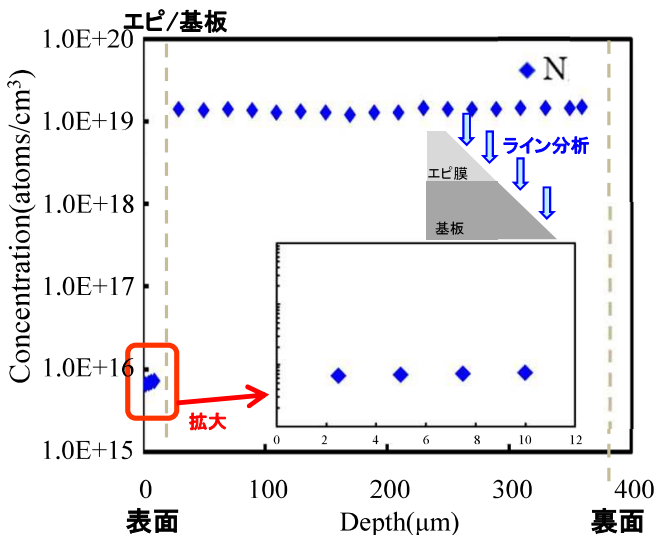


Fig.3 エピ膜/SiC基板の全厚みにおけるN濃度分布

### 研磨+SIMSによる深さ方向分析 (サンプルは左図と同じエピ/SiC基板)

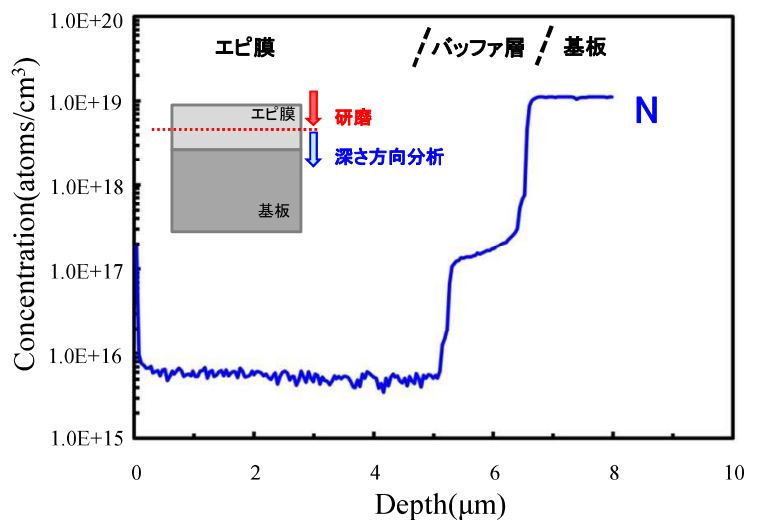


Fig.4 エピ膜/SiC基板界面近傍のN濃度分布

SiC基板中は、全深さにおいて約 $1E19$  atoms/cm<sup>3</sup>とほぼ一定の分布

エピ/基板界面で、分布にショルダーが認められる  
→上層に厚い層が存在する場合、注目領域まで除去して分析することで、深さ方向分解能のよいデータを取得可能

**前処理により、通常の深さ方向分析では困難な広範な深さ領域の元素分布を評価可能**

# SiC MOSFET トレンチ近傍のNanoSIMS分析

NanoSIMSは、SIMS(二次イオン質量分析)において、高い空間分解能と質量分解能を両立することが可能な装置である。また、通常のSIMS同様、不純物に対する検出感度が高く、今回は市販品のトレンチ型SiC MOSFETについて断面方向からNanoSIMSで分析した事例を紹介する。

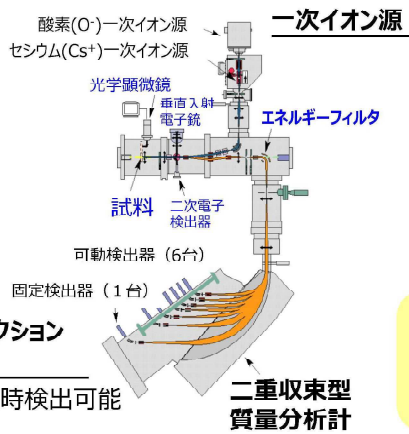
## NanoSIMSの装置構成、スペック

### <装置外観>



(AMETEK社HPより)

### <装置構成図>



マルチコレクションシステム  
7元素を同時検出可能

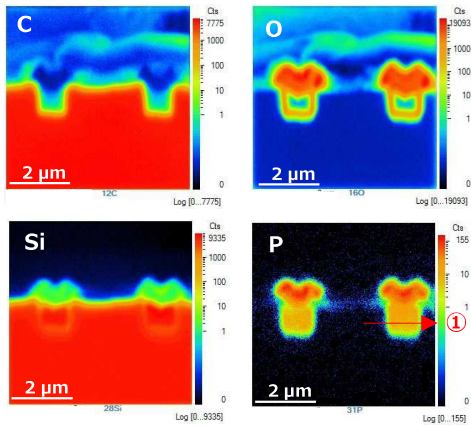
### <主な装置スペック>

1次イオン種	Cs <sup>+</sup> , O <sup>-</sup>
最小ビーム径	O <sup>-</sup> : < 50 nm Cs <sup>+</sup> : < 50 nm
検出下限	ppb ~ ppm
質量分析計	二重収束型
同時測定イオン数	7
分析深さ	< 数10 nm

- ◆ 一般的なDynamic-SIMSより高い空間分解能
- ◆ Atom Probe Tomographyより高感度
- ◆ 高い空間分解能と質量分解能の両立が可能

## NanoSIMSによるトレンチ近傍の不純物分析

### NanoSIMS



ライン  
プロフィール

矢印①、②の位置でラインプロフィールを作成した結果を示す。  
NanoSIMSはEDXに比べてPの感度が高い。

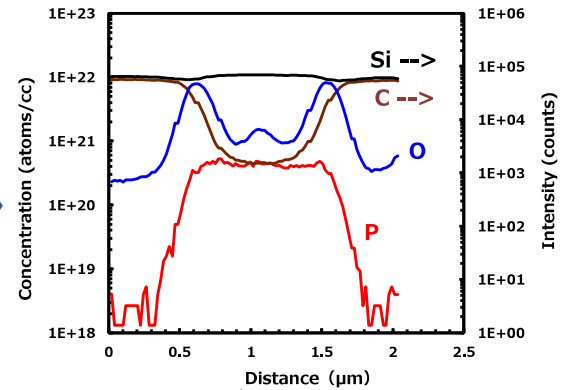
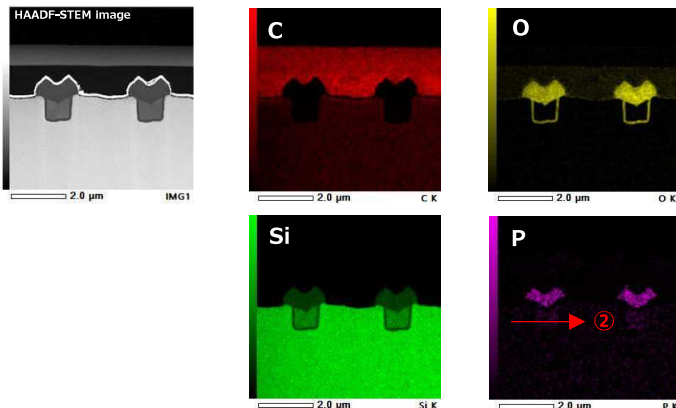


Fig.1 ラインプロフィール (NanoSIMS)

### STEM-EDX



ライン  
プロフィール

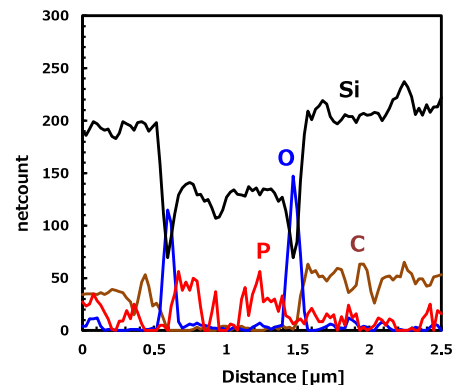


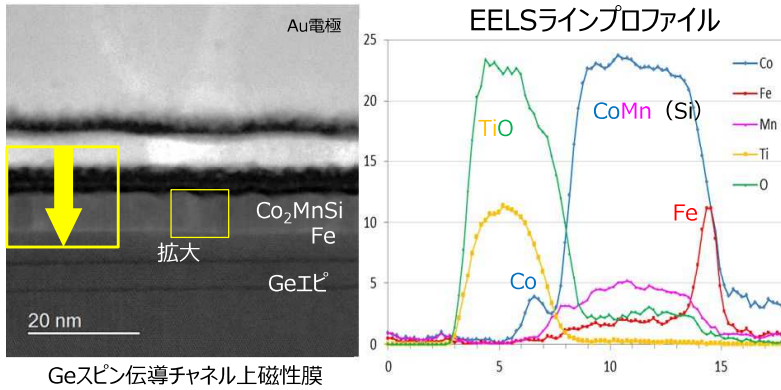
Fig.2 ラインプロフィール (STEM-EDX)

NanoSIMSはSTEM-EDXに比べて不純物の感度が高く、トレンチ周辺の不純物評価が可能である。

# プリセッションアシスト4D-STEM法を用いた エピタキシャル磁性薄膜の構造解析

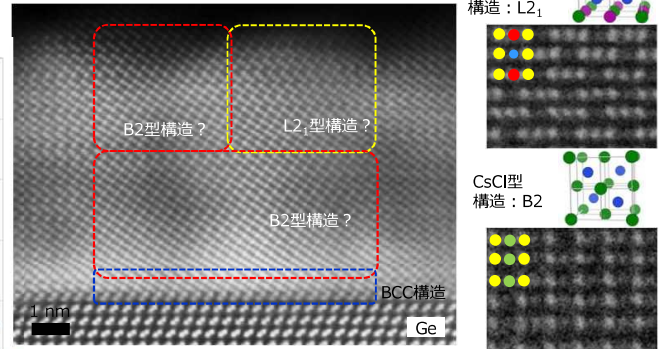
4D-STEM法は、ナノビームを走査してイメージと同時にナノ電子回折図形 (NDP) を取得し、そのNDPを用いて結晶構造/方位、電場/磁場の可視化などを行う手法である。4D-STEM法とプリセッション法を組み合わせることで、NDPを明瞭化し、高精度の結晶構造解析が可能となる。ここではエピタキシャル磁性薄膜の構造解析に適用した事例を紹介する。

## 1. 高分解能HAADF & EELSによる層構成・構造確認



サンプルご提供：大阪大学（現東京都市大） 山田道洋准教授

磁性膜部分の拡大像 (HAADF-STEM)

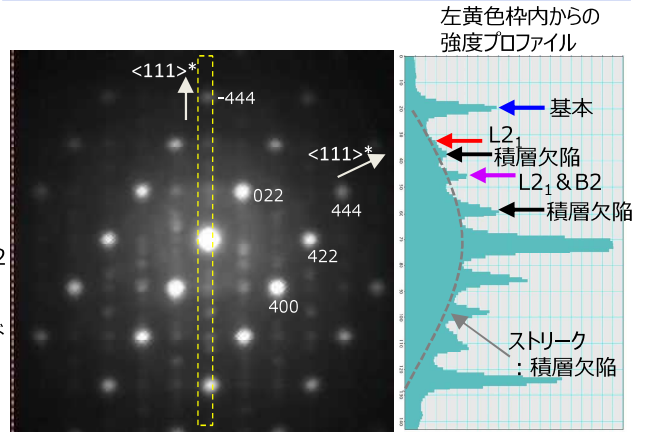
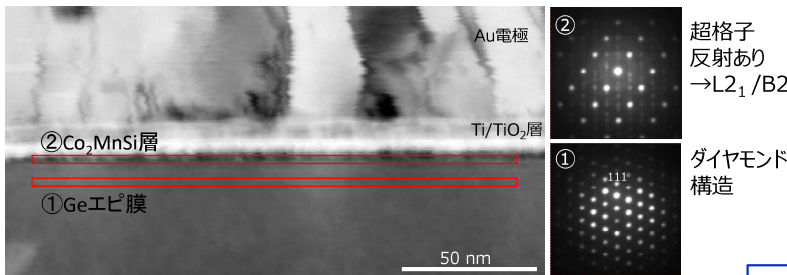


HAADFのみでは両構造の厳密な識別が困難→回折

## 2. NDPの抽出とその解析

疑似BF-STEM像 (200 pix X 100 pix)

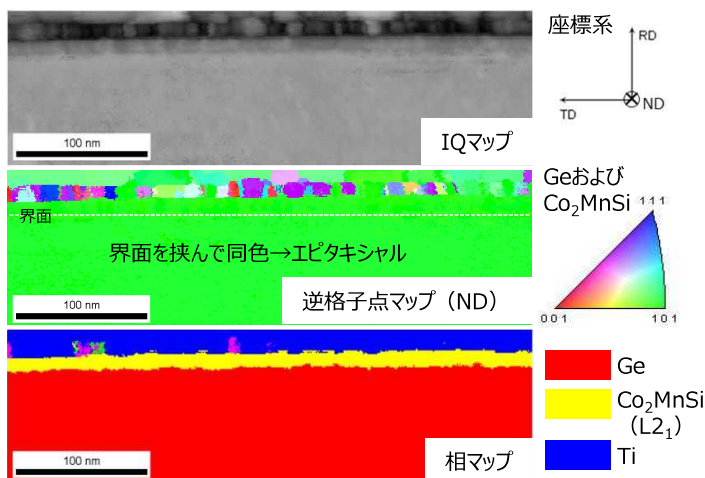
左図赤枠から抽出したNDP (抽出領域: 2×180 nm<sup>2</sup>)



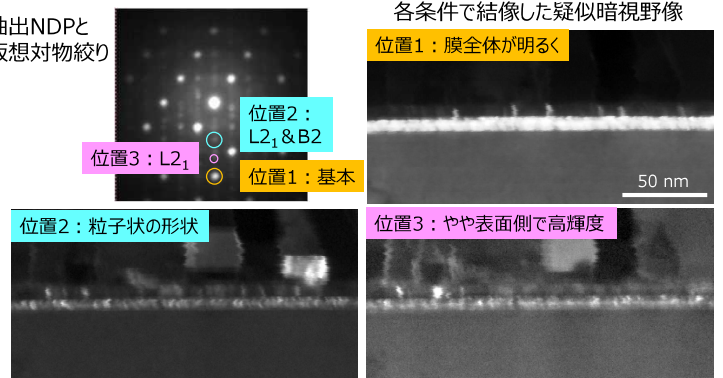
各ピクセルにNDPが格納されており、任意領域から抽出可能

積層面に垂直な<111>\*方向にのみストリーク&超格子反射が発生→成膜時に導入された積層欠陥

## 3. NDPを用いた相解析/結晶方位解析



## 4. 仮想対物絞りによる疑似暗視野STEM像の結像



任意の大きさの仮想対物絞りを挿入して対応する長周期構造の分布を可視化

回折パターンとしては、L<sub>21</sub>構造と認識されている。

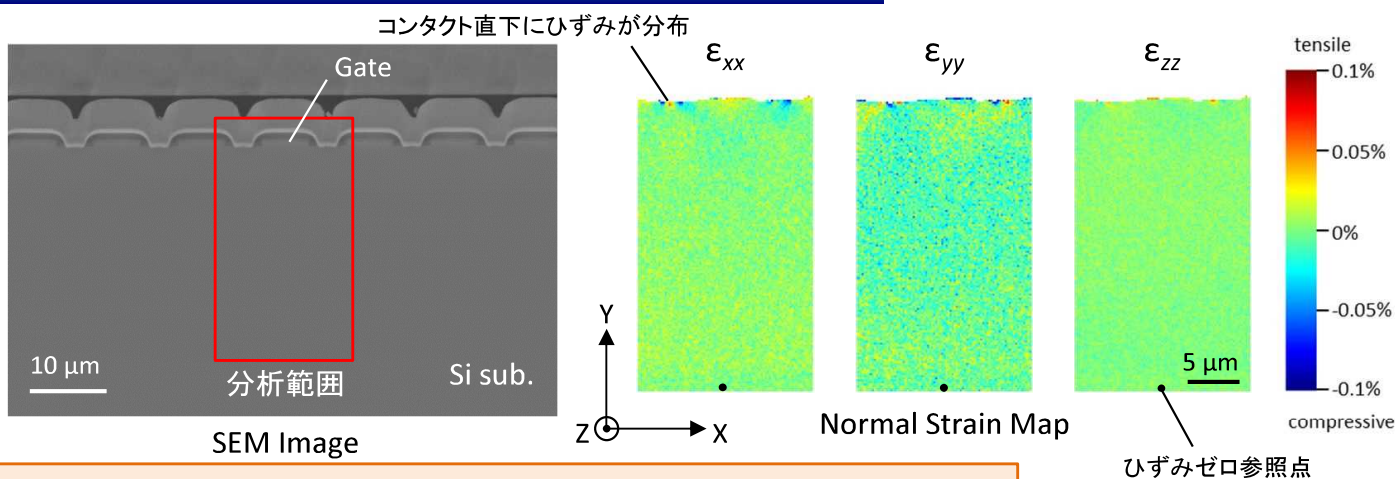
この取り組みの一部は、東京工業大学集積デバイスコンソーシアム (iSyMs) の支援を受けて実施している。

デバイスの特性を究明する先端測定・解析技術をご提供致します。

# EBSD-Wilkinson法を用いた パワーデバイス断面のひずみ解析

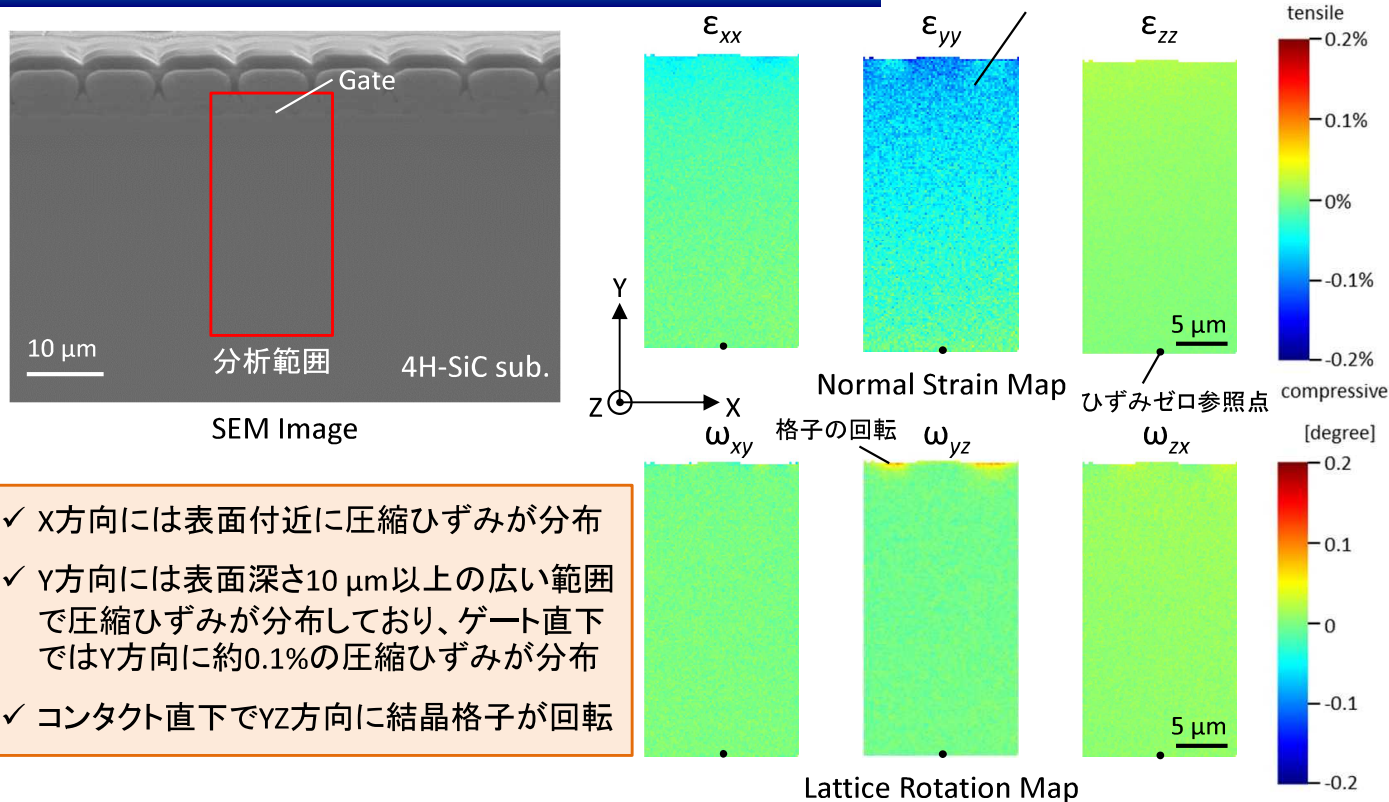
EBSD-Wilkinson法では高解像度で取得したEBSDパターンを用い、結晶性試料に対し参照点をひずみゼロとした相対的な弾性ひずみ(格子ひずみ)を約50 nmの高い空間分解能でマッピングすることができる。SiやSiCのパワーデバイス断面のひずみ分布を分析した結果を紹介する。

## SiパワーMOSFET断面のひずみ解析



✓ コンタクト直下ではX/Y方向に最大0.1%程度の局所的なひずみが分布

## SiCパワーMOSFET断面のひずみ解析



- ✓ X方向には表面付近に圧縮ひずみが分布
- ✓ Y方向には表面深さ10  $\mu\text{m}$ 以上の広い範囲で圧縮ひずみが分布しており、ゲート直下ではY方向に約0.1%の圧縮ひずみが分布
- ✓ コンタクト直下でYZ方向に結晶格子が回転

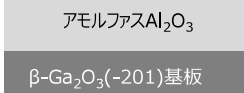
- 高空間分解能(約50 nm)でX, Y, Z方向に分解した相対的な弾性ひずみやせん断ひずみ、微小な結晶方位回転についてのマップデータが得られ、応力値への換算も可能
- 半導体以外にも金属やセラミックなど幅広い材料のひずみ解析が可能

# 電子線照射ダメージを極限まで抑制した Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>界面のSTEM-EELS評価

ハイエンドSTEM装置では、EDM(Electrostatics Dose Modulator)を用いたSTEM観察、および最新検出器を用いた低加速EELS測定など、従来よりも電子線照射量を抑えて分析することが可能である。これらの手法を用いて、電子線照射に対して脆弱な Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>界面を評価した事例を紹介する。

## Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>界面

[Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-MOSFET構造を想定]

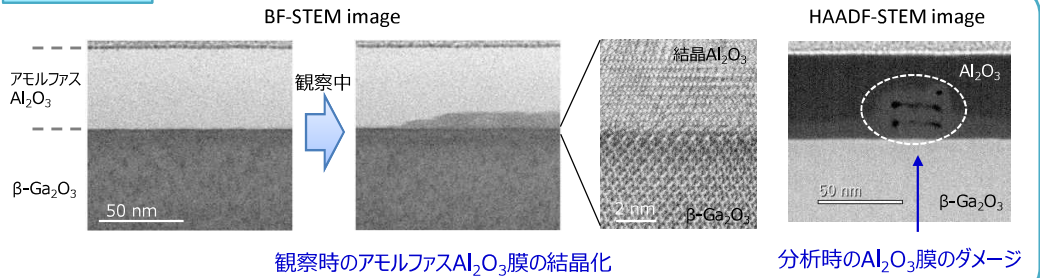


Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>膜は電子線照射に対して脆弱

**新手法**

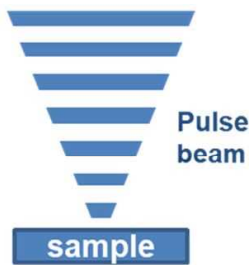
- ・EDMを用いたSTEM観察
- ・最新検出器 + 低加速EELS測定

### 従来測定法



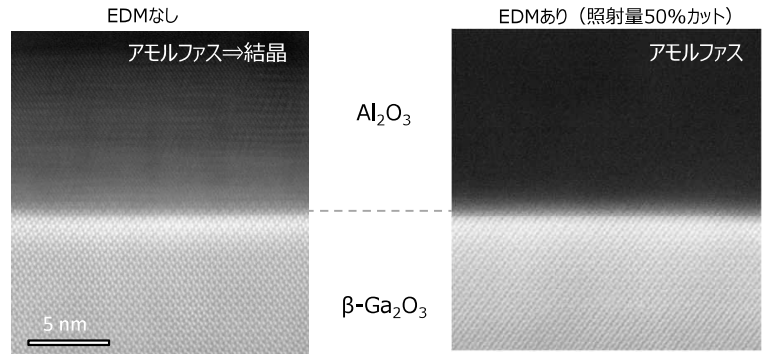
## EDMを用いたSTEM観察

EDM (Electrostatics Dose Modulator) の概要



高速静電シャッターにより、電子線をパルス状に照射可能

### 原子分解能HAADF-STEM image (200 kV)

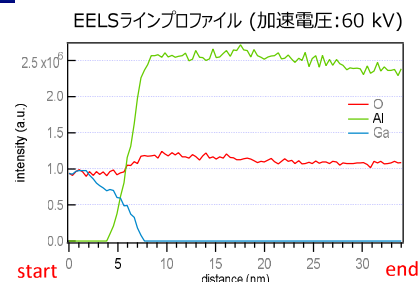
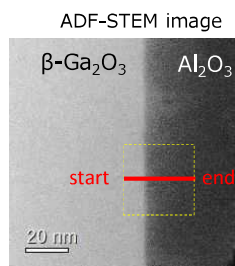


アモルファスAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>膜の結晶化が抑制され、本来の構造を保持したまま観察可能

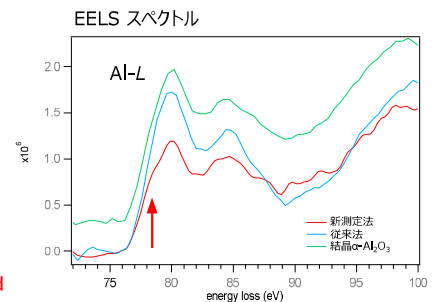
## 最新検出器を用いた低加速EELS測定

加速電圧60 kV  
+  
最新検出器 (Continuum S)

Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>界面を評価



ダメージに起因した強度低下もほぼ認められない。

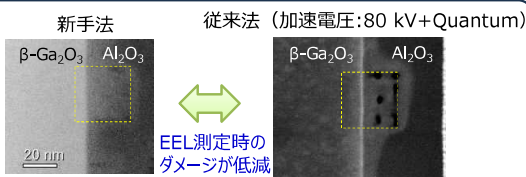


新手法において、本来のAlの結合状態を示唆する78 eV近傍のショルダーが認められた。



最新EELS検出器 (Gatan社製 Continuum S)

測定後のダメージ



電子線ダメージを低減することで、アモルファスAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>膜の化学結合状態を残したまま評価可能

最先端観察技術および最新検出器を用いて、これまでの常識を変える先端解析技術をご提供いたします。

# 加熱 *in-situ* TEM観察とSTEM-EDX分析による 金属積層膜の熱挙動把握

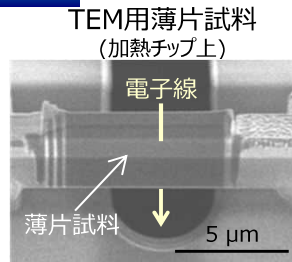
同一視野内での加熱 *in-situ* TEM観察とSTEM-EDX分析によって、構造と元素組成の温度変化をnmレベルで分析可能な技術を開発した。ここでは、はんだ用UBM(Under Bump Metal)として使用されるAu/Pd-P/Ni金属積層膜について、熱処理中の構造変化と元素拡散を観察した事例を紹介する。

## 1. 加熱 *in-situ* TEM観察の概要

TEM用薄片試料を温度印加しながらTEM観察を行う  
(温度：23℃～1300℃)

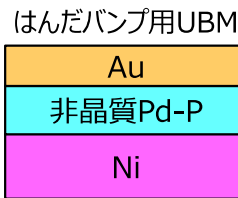
nmレベルでの  
加熱中の熱挙動可視化

関連資料：東レリサーチセンター技術資料  
(P01978, P02139)

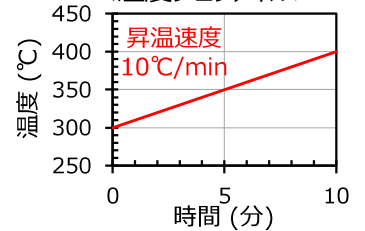


## 2. サンプル / 温度プロフィール

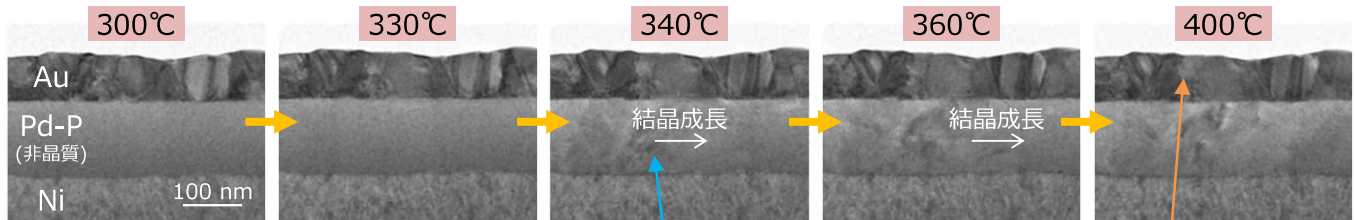
<サンプル断面模式図>



<温度プロフィール>



## 3. 加熱 *in-situ* TEMによる金属積層膜(Au/非晶質Pd-P/Ni)の熱挙動の可視化 (TEM動画&画像抽出)

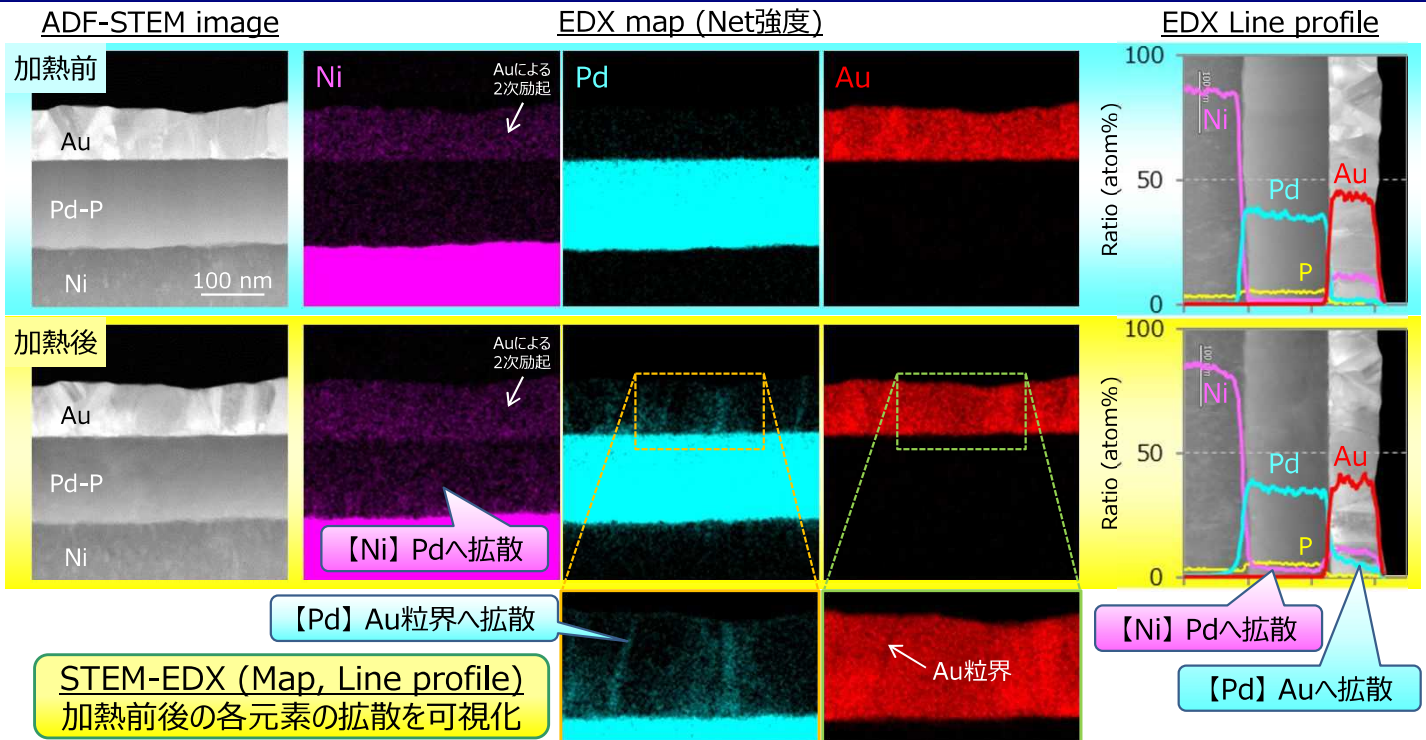


加熱 *in-situ* TEM観察  
非晶質膜の結晶化過程を可視化

【非晶質Pd-P膜】  
結晶化@340℃→結晶成長

【Au膜】  
構造変化@300～400℃

## 4. STEM-EDXを用いた加熱前後の元素分析による金属(Au、Pd、Ni)の熱挙動把握 (加熱と同一視野)



STEM-EDX (Map, Line profile)  
加熱前後の各元素の拡散を可視化

【Ni】Pdへ拡散  
【Pd】Auへ拡散

東レリサーチセンターでは、新規導入した加熱 *in-situ* TEMホルダーと独自の薄膜加工技術を駆使し、同一箇所での加熱 *in-situ* TEM観察とSTEM-EDX分析により熱挙動を把握する技術をご提供いたします。



# 半導体デバイスの広域3D-SEMおよび 低ダメージTEM試料作製

従来のGa-FIBとは異なるマルチイオン種プラズマFIB (PFIB) は、大電流値による高速・広範囲加工とGaフリーの低ダメージTEM試料作製が期待できる。本資料ではマルチイオン種PFIBによる半導体デバイスの加工例を紹介する。

## マルチイオン種プラズマFIB : Helios 5 Hydra (Thermo Fisher Scientific社製)



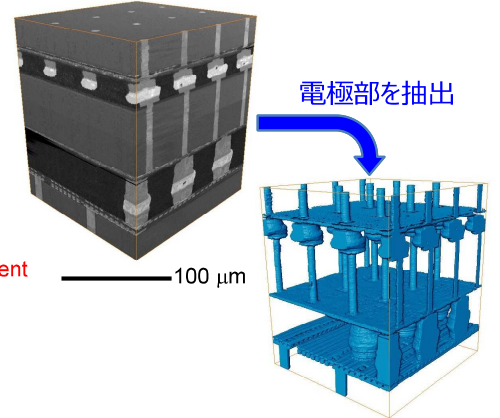
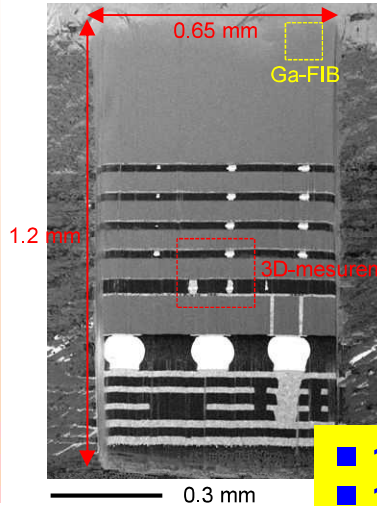
- 大電流ビームで高速/広域加工 (従来比40倍)
- 4種のイオン (Xe, Ar, O, N) による新規アプリケーション
- 大気非暴露、クライオ、EDX、3D-SEM測定に対応

## グラフィックプロセッサの広域断面加工および3D-SEM

Sample : 市販品グラフィックプロセッサ(GPU)

断面SEM像

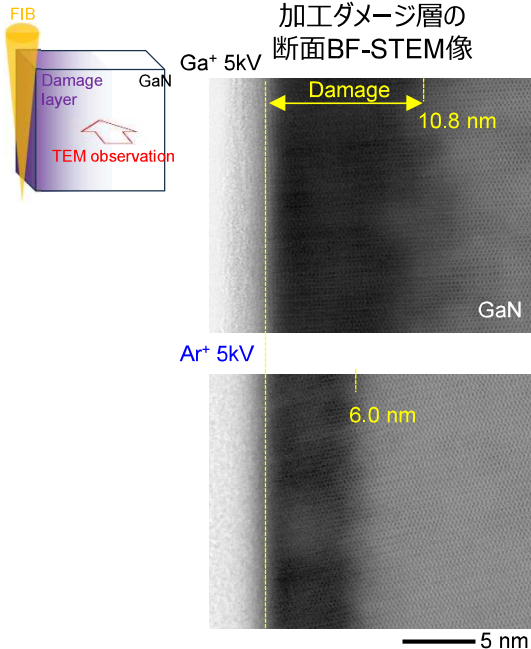
3次元再構築像



- 1.2 x 0.65 mm<sup>2</sup>の広範囲断面加工
- 1辺100 μmを超える広範囲3D-SEM

## GaNウエハのFIB加工面ダメージ評価

Sample : GaN wafer



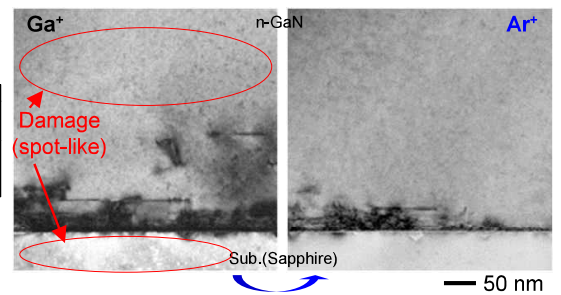
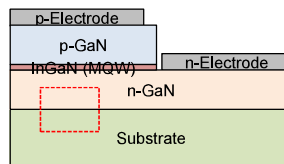
Ar<sup>+</sup>加工によりダメージ層が低減

## Ga系化合物半導体発光デバイスのTEM試料作製

Sample : GaN LED

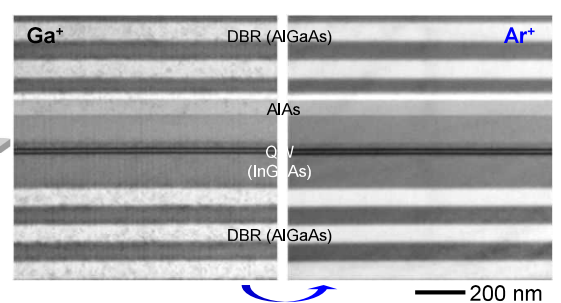
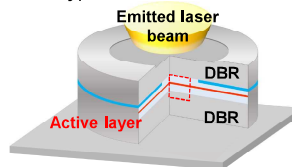
断面明視野TEM像

Typical LED structure



Sample : GaAs 面発光レーザー (VCSEL)

Typical VCSEL structure



点状の加工ダメージが低減され、TEM像質が向上

東レリサーチセンターは広範囲・高品質観察技術で  
半導体デバイスの課題解決に貢献します



# 半導体用レジスト中の脂環式ポリマーの解析

近年、半導体用のポジ型ArFレジスト等に含まれる脂環式構造をもつアクリルポリマーの構造は複雑化の一途を辿っており、解析はますます困難となっている。東レリサーチセンターでは長年にわたる知見に基づき、最適な前処理・分析手法のご提案を行い、また独自データベースの構築により、解析力の向上に努め、構成ユニットを定性、定量してきた。ここではアクリルポリマー解析の一例を紹介する。

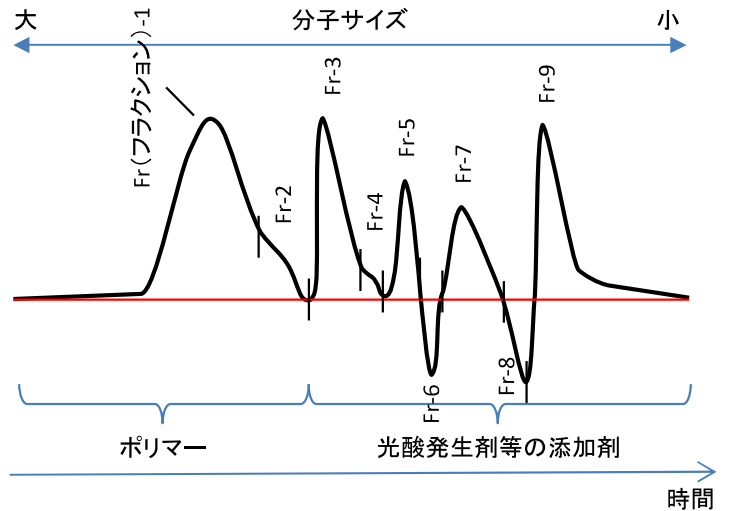
## 東レリサーチセンターのレジスト分析の強み

レジスト試料はポリマー、材料に応じた種々の添加剤、溶剤を含む混合物であるため、組成を解析するためには、種々の含有成分を試料から単離する必要がある。

	分析手法	得られる結果
一般的	IR, <sup>1</sup> H NMR, 熱分解GC/MS等	主成分の化学構造 (どの成分由来の構造か特定できない)
東レリサーチセンター	溶媒抽出、GPC分取、分取物のIR, NMR, 熱分解GC/MS等	ポリマー、添加剤、溶剤の含有成分の化学構造、比率

東レリサーチセンターは、長年発展させてきた適切な前処理と分析技術により、未知試料中の様々な含有成分を分離することで、化学構造と比率を解析している。

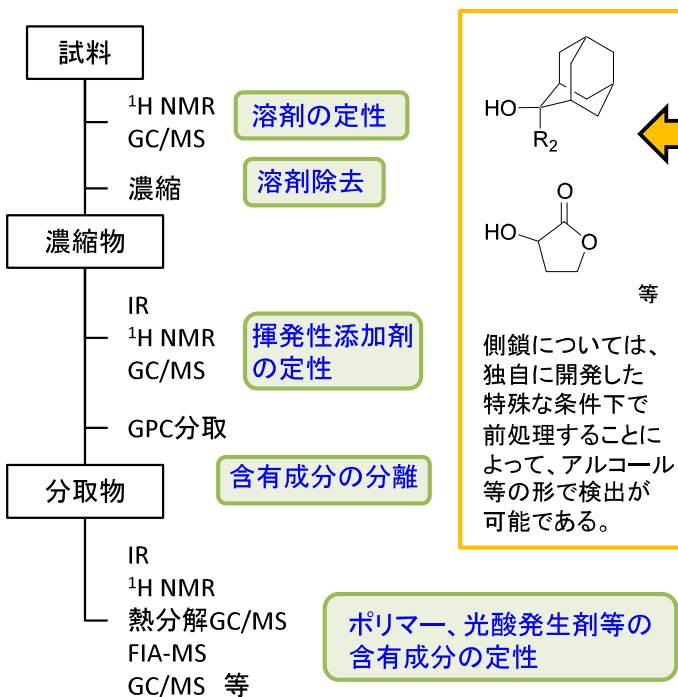
## ポリマーの単離



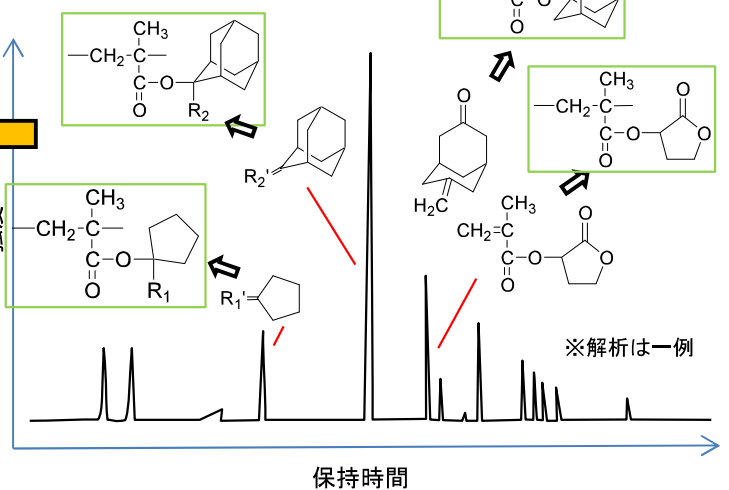
濃縮物のGPC分取におけるクロマトグラム(イメージ)

GPC分取等でポリマーのみを回収することができる。

## ポジ型ArFレジスト組成分析のフロー



## ポリマーの解析



ポリマーの熱分解GC/MSIにおけるクロマトグラム(イメージ)

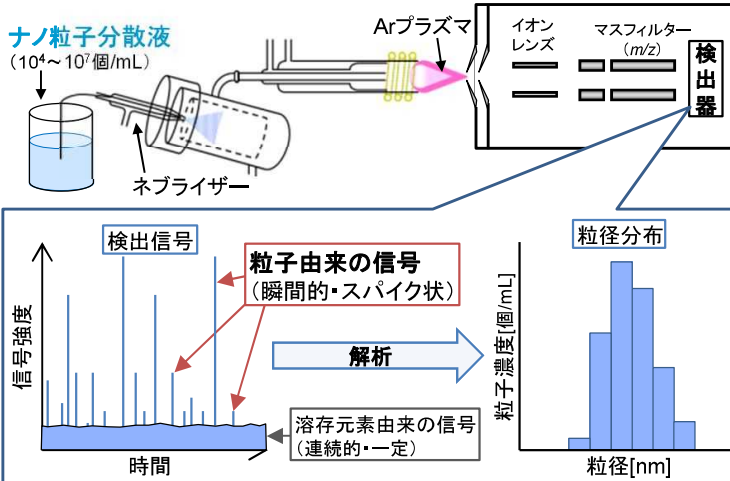
脂環式アクリルポリマーでは、熱分解生成物が構成モノマーの形で検出されず、市販のデータベース(DB)にない複雑な化合物として検出される場合も少なくない。東レリサーチセンターではマスペクトルを独自にDB化しており、高い確度で構成モノマーを決定できる。

東レリサーチセンターでは様々な分析手法や独自の知見を駆使することで、ポリマーだけでなく光酸発生剤や他の微量に存在する重要な添加剤なども含めた未知試料の組成を決定している。

# spICP-MSによるレジスト中の金属微粒子分析

シングルパーティクルICP-MS (spICP-MS) は数十nmの小さな粒径まで測定が可能であり、レジスト材料によるデバイス不良発生を防ぐための有効な手段となる。ここでは、レジスト中のFe、Cu、Alについて各種パラメーターを評価した事例を紹介する。

## spICP-MSの概要



## spICP-MSの特徴

- 金属/金属酸化物の**粒径分布**、**粒子濃度**を**金属種ごと**に取得できる。
- 微量の粒子** ( $10^4$ 個/mL) を測定できる。
- 短時間**で測定できる(1測定1~2分)。
- 粒径は粒子が**球形と仮定**して算出する。
- 分析対象は、**液体**(水系溶媒、有機溶媒)中の粒子。

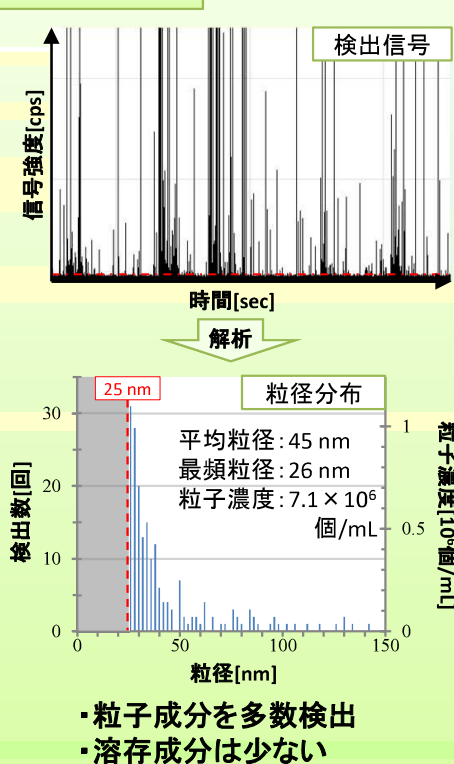
### 測定可能な有機溶媒の例

IPA、メタノール、エタノール、アセトン、アセトニトリル、DMSO、酢酸エチル、酢酸ブチル、NMP、乳酸エチル、MIBK、PGMEA、PGME、トルエンなど

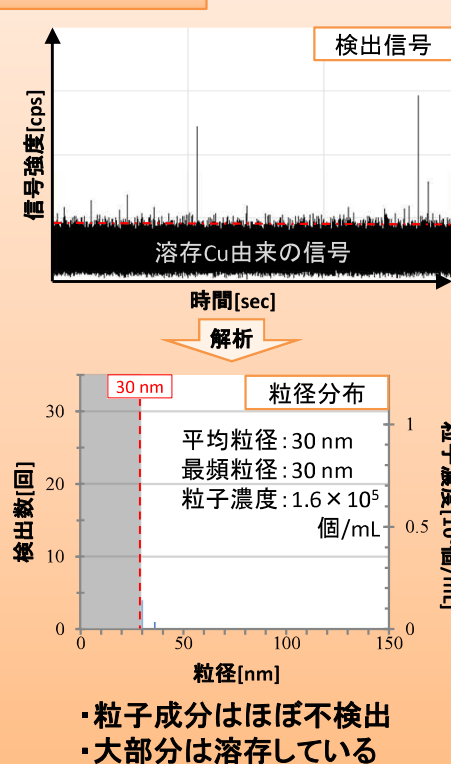
## レジスト中金属粒子の分析結果

- レジストをPGMEAで希釈したのち、spICP-MSでAl、Cu、Feの測定を実施。  
**金属種ごとに存在形態に特徴があることが判明。**

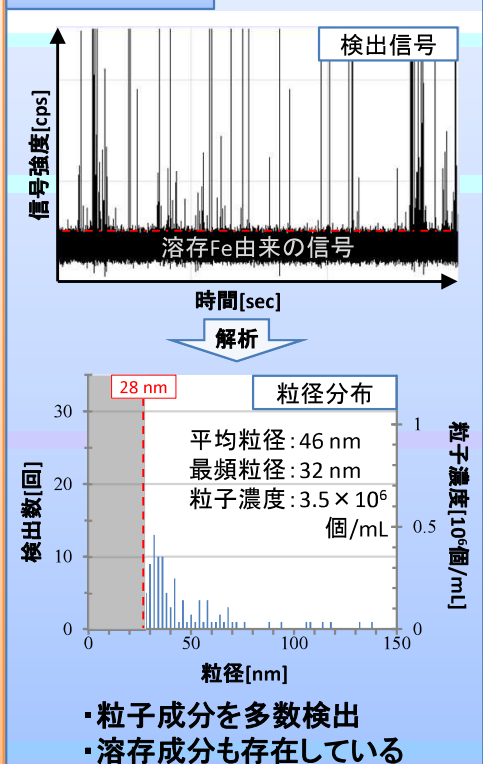
### Alの分析結果



### Cuの分析結果



### Feの分析結果

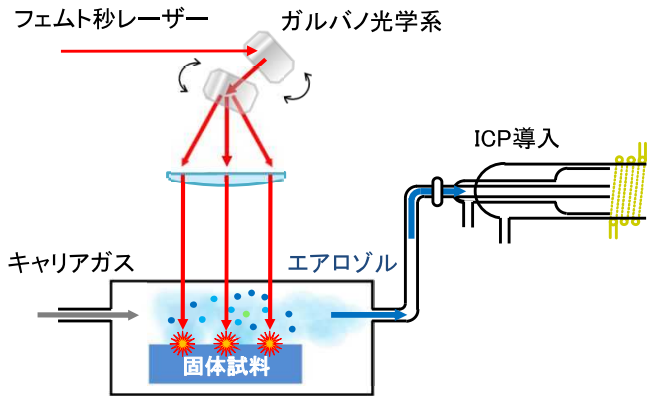


spICP-MSにより、金属成分の存在形態、粒子濃度、粒度分布などの情報を入手可能。  
→材料中の粒子由来の不純物の素性を把握し、高純度化への指針を得る。

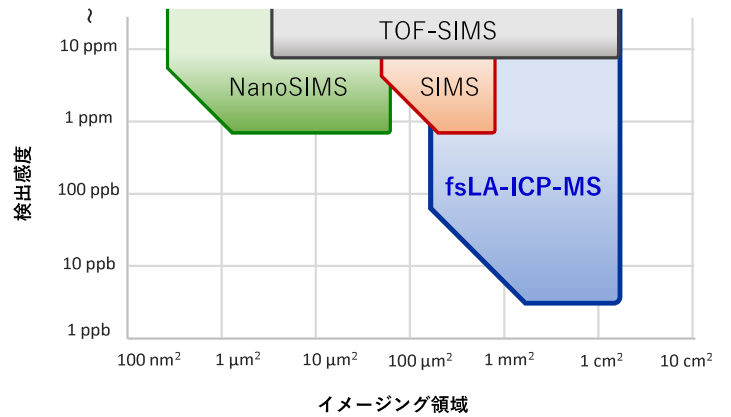
# fsLA-ICP-MSによるSiC基板中の微量元素の三次元イメージング

fs(femtosecond)LA-ICP-MSは様々な試料で高感度な元素イメージングが可能な技術です。ここでは、SiCにNiおよびGeをイオン注入した試料について、 $2 \times 5 \times 0.00035$  mmの領域で三次元イメージ像を取得した事例を示します。

## ガルバノ光学系搭載fsLA-ICP-MSの原理と特徴



## 微量元素イメージング手法の比較



各種イメージング手法における検出感度と領域の比較

- ◆ fsLA-ICP-MSは $\text{mm}^2 \sim \text{cm}^2$ の広い領域でppm以下の高感度でのイメージングが可能(定量イメージングは標品が必要)

## 評価事例：SiC基板中のNiおよびGeの三次元イメージング

- 試料: NiおよびGeをイオン注入したSiC基板
- 測定領域:  $2 \text{ mm} \times 5 \text{ mm}$  (レーザー照射径:  $10 \mu\text{m}$ )
- 測定方法:  $35 \text{ nm}$ ステップで10回の測定を行い三次元イメージ像を構築(NiおよびGeを同時測定)

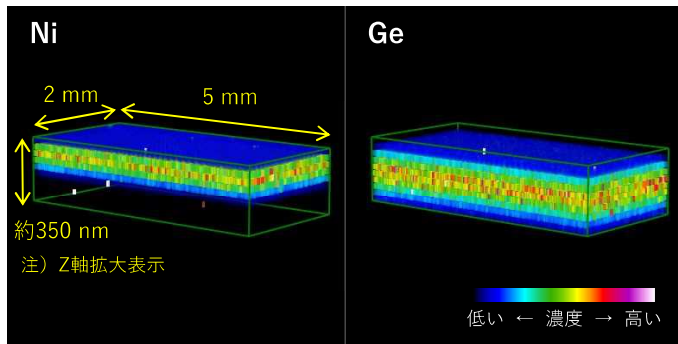


図1 NiおよびGeの三次元イメージ像

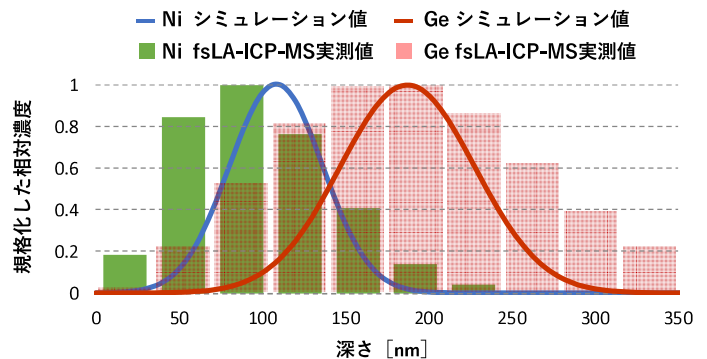


図2 fsLA-ICP-MS実測値(各深さ測定域の信号強度積算値)とイオン注入シミュレーション結果の比較

- ◆ Ni、Ge共に二次元の面内には均一に存在しているが、Niは表面から約 $100 \text{ nm}$ 、Geは約 $200 \text{ nm}$ の深さに濃度のピークがある
- ◆ 深さ方向のNiの分布は、ピークトップから $\pm 100 \text{ nm}$ 程度、Geは $\pm 200 \text{ nm}$ 程度の広がりを持っており、Geの分布のほうがブロードである
- ◆ fsLA-ICP-MSで得られた結果は、イオン注入シミュレーション結果と同様の傾向を示した



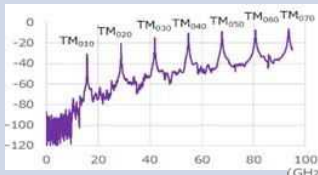
fsLA-ICP-MSにより固体試料中の微量元素を広範囲、高感度でイメージングできます。東レリサーチセンターは、この技術を駆使し、半導体材料・製品、工業材料、生体試料など幅広い分野の研究・技術開発を支援します。

# 5G 伝送損失の評価

提携先:NTTデバイスクロステクノロジ(株)

最大120 GHz ! 5G 温度変化対応  
-55°C ~ +150°C

薄膜フィルム  
も対応!

	測定種類	測定対象	周波数帯	温度範囲
1	伝送損失 ※1 	プリント 配線板	RFコネクタ 10 MHz ~ 67 GHz	-55°C ~ +150°C
			マイクロプローブ 10 MHz ~ 110 GHz	-55°C ~ +150°C
2	Dk/Df ※2 	誘電体	10 GHz ~ 120 GHz 	-55°C ~ +150°C
3	導電率	導体	<ul style="list-style-type: none"> <li>5, 10, 15, 20, 30 GHz</li> <li>10 ~ 100 GHz</li> </ul>	常温のみ

※1 評価基板設計(シミュレーション含む)及び基板調達の対応も可能  
※2 比誘電率(Dk)/誘電正接(Df)

# お問い合わせ先

## Japan

### 東京営業第1,2部 *Tokyo*

〒103-0023 東京都中央区日本橋本町1-7-2 KDX江戸橋ビル6F  
TEL:+81-3-3245-5665 FAX:+81-3-3245-5804

### 関西営業部 *Shiga*

〒520-8558 滋賀県大津市園山1-1-1 技術センター1号館2F  
TEL:+81-77-534-1655 FAX:+81-77-537-6311

### 名古屋営業部 *Nagoya*

〒450-0003 名古屋市中村区名駅南1-24-20 名古屋三井ビルディング新館13F  
TEL:+81-52-571-5510 FAX:+81-52-571-5610

### ライフサイエンス営業部 *Tokyo*

〒103-0023 東京都中央区日本橋本町1-7-2 KDX江戸橋ビル6F  
TEL:+81-3-3245-5666 FAX:+81-3-3245-5804

### 海外営業部 *Tokyo*

〒103-0023 東京都中央区日本橋本町1-7-2 KDX江戸橋ビル6F  
TEL:+81-3-3245-5665 FAX:+81-3-3245-5804

### 蓄電デバイス事業部 *Tokyo*

〒103-0023 東京都中央区日本橋本町1-7-2 KDX江戸橋ビル6F  
TEL:+81-3-3245-5665 FAX:+81-3-3245-5804



[bunseki.trc.mb@trc.toray](mailto:bunseki.trc.mb@trc.toray)

## Foreign countries

### China

#### Toray Research Center (Shanghai) Co., Ltd.

TEL:+86-21-3429-0155 FAX:+86-21-3429-0133  
E-mail : [inquiry.trcs.mb@mail.toray](mailto:inquiry.trcs.mb@mail.toray)  
<https://www.toray-research.co.jp/cn/>

### Korea

#### KTS Global Co., Ltd.

TEL : +82-31-442-0483,0493 FAX : +82-31-442-2325  
MOBILE : +82-10-5204-6439  
E-mail : [jslee@kts-trc.co.kr](mailto:jslee@kts-trc.co.kr)  
<http://www.kts-trc.co.kr/>

### Taiwan

E-mail : [lisa.wang.u3@mail.toray](mailto:lisa.wang.u3@mail.toray)

## 株式会社 東レリサーチセンター