

電子機器部品の構造・欠陥解析 SIM像による三次元観察の応用事例

2020.04.17

日本電子株式会社

EP事業ユニット EPアプリケーション部 FIBグループ 山田 晶子

Solutions for Innovation



SEM・FIB ラインナップ

	JSM-7900F ショットキー電界放出形走査電子顕微鏡	FE SEM	EDS 元素分析	WDS 元素分析	EBSD 結晶解析	EXES 高分解能EDS
	JSM-7610FPlus ショットキー電界放出形走査電子顕微鏡	FE SEM	EDS 元素分析	WDS 元素分析		
	JSM-F100 ショットキー電界放出形走査電子顕微鏡	FE SEM	EDS 元素分析	WDS 元素分析	EBSD 結晶解析	EXES 高分解能EDS
	JIB-4700F 複合ビーム加工観察装置	FE SEM	IB イオンビーム	3D イメージング	EDS 元素分析	WDS 元素分析
	JSM-IT500HR 走査電子顕微鏡	FE SEM	EDS 元素分析	WDS 元素分析	EBSD 結晶解析	
	JSM-IT500 走査電子顕微鏡	W SEM	EDS 元素分析	WDS 元素分析	EBSD 結晶解析	
	JIB-4000PLUS 集束イオンビーム加工観察装置	IB イオンビーム	3D イメージング			
	JSM-IT200 走査電子顕微鏡	W SEM	EDS 元素分析			
	JCM-7000 卓上走査電子顕微鏡	W SEM	EDS 元素分析			



JIB-4000PLUS

Focused Ion Beam System

Advanced
High Throughput and Automated
Single Beam FIB



JIB-4000PLUS

Focused Ion Beam System

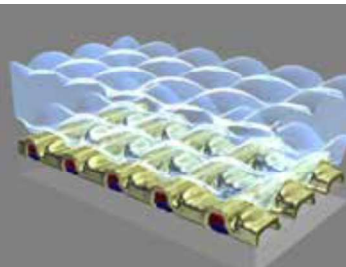
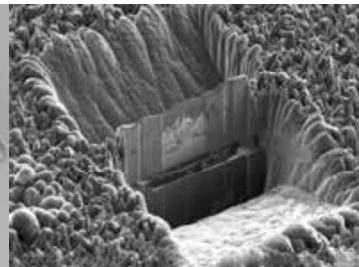
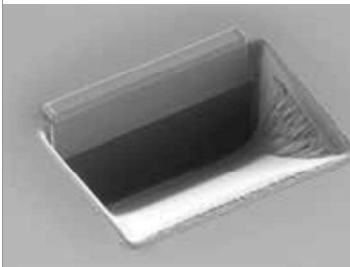
JIB-4000PLUSのアプリケーション

断面試料作製

TEM試料作製

三次元観察

微細形状作製



さまざまな試料作製に使用できる
操作性と高性能を両立した シングルビームFIB



Contents

FIBの基礎

三次元観察の概要

IRカットフィルター

セラミックコンデンサー

半導体封止材

まとめ

Solutions for Innovation JEOL

Contents

FIBの基礎

三次元観察の概要

IRカットフィルター

セラミックコンデンサー

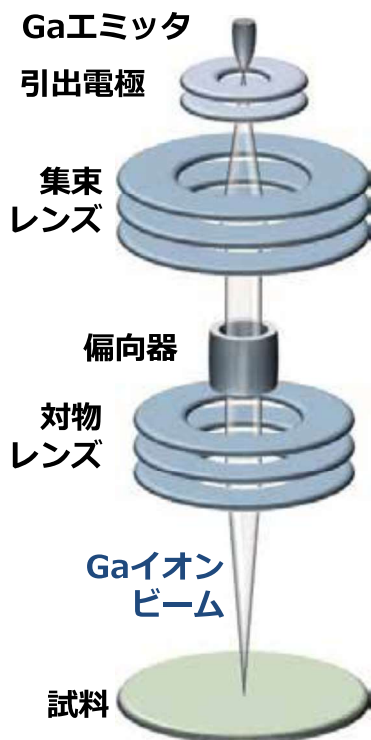
半導体封止材

まとめ

Solutions for Innovation JEOL

FIB(Focused Ion Beam)の基礎

構造



基本機能



ミリング

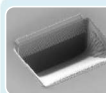


デポジション



観察

アプリケーション



SEM観察用
断面試料作製



TEM観察用
薄膜試料作製

FIBの特長

サブミクロン以下の
位置精度で試料作製

高コントラストの
断面観察

Solutions for Innovation JEOL

FIB断面試料

-JIB-4000PLUSのアプリケーション-

断面試料：FIBのミリング加工により試料の一部を削り断面を作製する。

作製手順：デポジション(保護膜) → 粗加工 → 仕上げ加工

地層の断面



FIB作製の断面試料

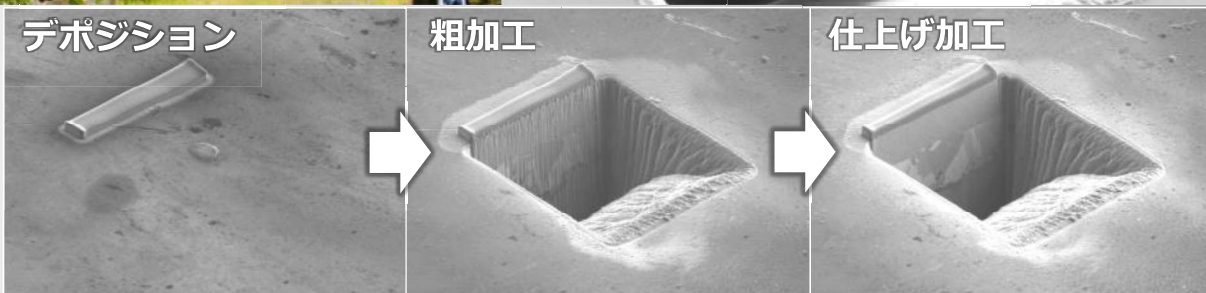


作製手順

デポジション

粗加工

仕上げ加工



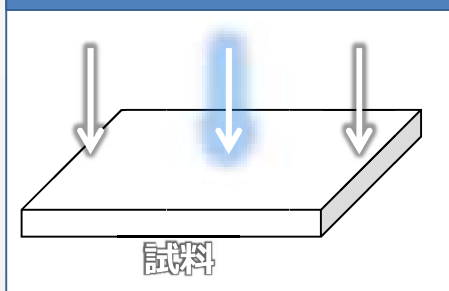
Solutions for Innovation JEOL

FIB断面の特長

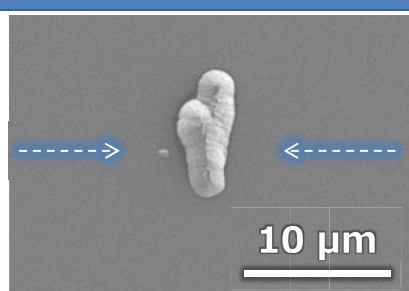
-JIB-4000PLUSのアプリケーション-

場所 : 試料端部に限らず内側でも作製できる。
位置精度 : サブミクロン以下の位置精度で作製できる。
作製時間 : 短時間で作製できる。

試料の**内側**でも
作製できる



狙った位置で
作製できる



短時間で
作製できる

試料作製時間
約 **10分**
(幅20μm、深さ10um)



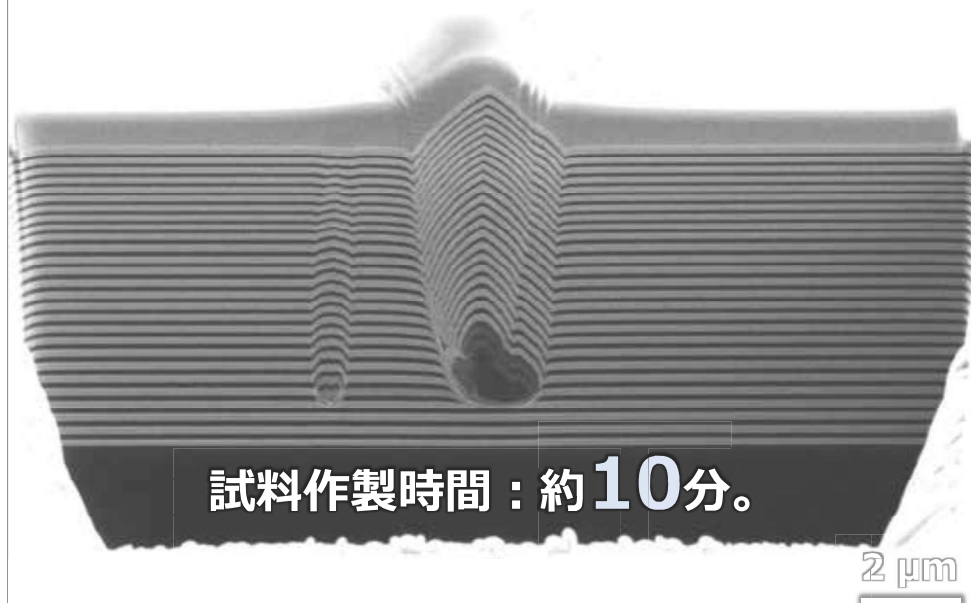
Solutions for Innovation JEOL

FIB断面の特長

-JIB-4000PLUSのアプリケーション-

場所 : 試料端部に限らず内側でも作製できる。
位置精度 : サブミクロン以下の位置精度で作製できる。
作製時間 : 短時間で作製できる。

FIB断面試料
IRカットフィルター上の欠陥部



試料作製時間 : 約 **10分**。

正確な位置での
断面試料作製

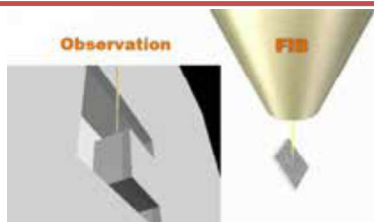
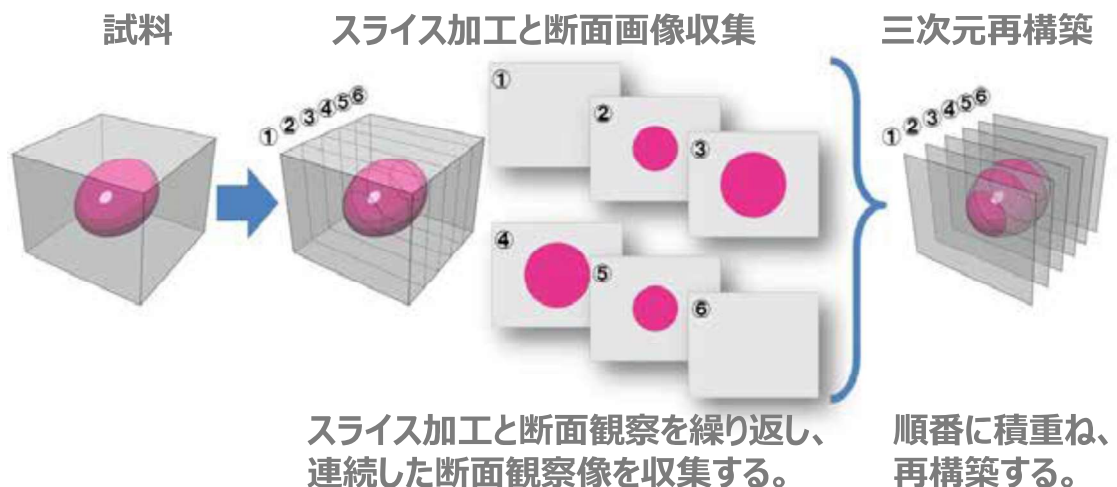


欠陥解析
に有効

Solutions for Innovation JEOL

FIBによるスライス加工と観察を繰り返し、連続断面観察像を自動収集。
試料内部を三次元的に観察できます。

三次元観察 の原理



連続断面観察像 (SIM像)

※ 再構築ソフトウェアはオプションです。

Solutions for Innovation JEOL

SIM(Scanning Ion Microscope) 像の3つの特徴

CCDセンサーのFIB断面の観察像

チャンネルリングコントラスト

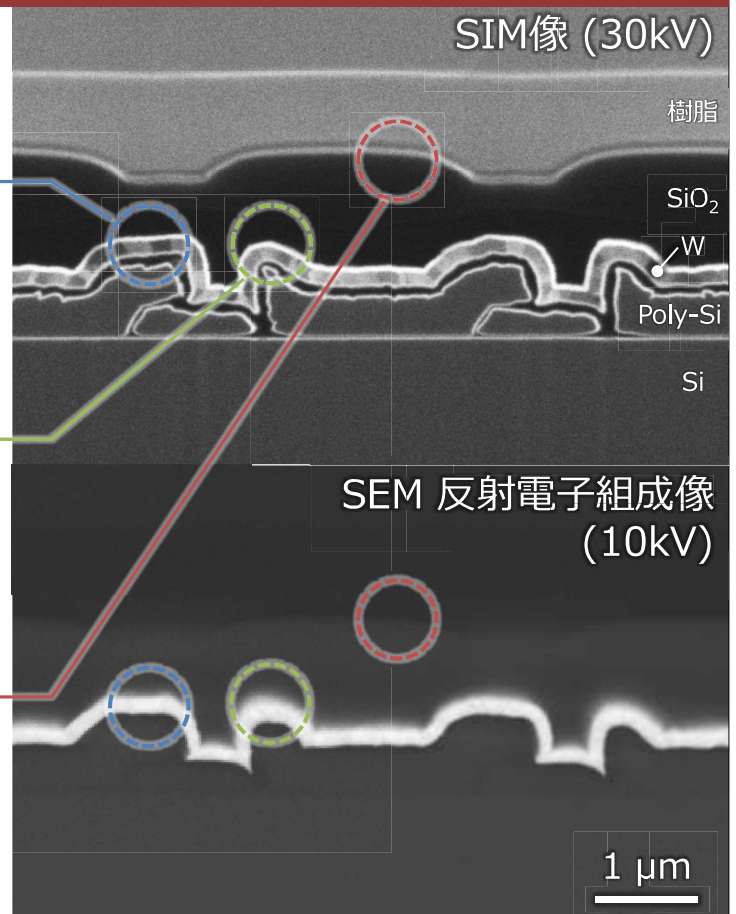
SIM像はチャンネルリングコントラストが鮮明に観察できます。Wの結晶粒が観察されています。

最表面観察

SIM像はSEM像に対し、より試料表面が観察されます。内部構造が透けて見えることによる「にじみ」がありません。

組成コントラスト

一般にSIM像はSEM像と組成コントラストが異なります。樹脂と酸化シリコンのコントラストが異なっています。



Solutions for Innovation JEOL

SIM像の特徴

三次元観察での利点

チャンネルリングコントラスト

SIM像はチャンネルリングコントラストが鮮明に観察されます。Wの結晶粒が観察されています。



結晶粒の三次元形状の観察が可能

最表面観察

SIM像はSEM像に対し、より試料表面が観察されます。内部構造が透けて見えることによる「にじみ」がありません。



加速電圧 **30kV**で、
スライス幅 **10nm**の測定が可能

組成コントラスト

一般にSIM像はSEM像と組成コントラストが異なります。有機膜と酸化シリコンのコントラストが異なっています。



材質の違いが明瞭であり、
領域の**区分け**が容易。

Solutions for Innovation JEOL

CCDイメージセンサー

三次元観察の
アプリケーションデータ

連続スライス断面観察機能により、**200枚**の断面観察像を収集。

スライス間隔：**50nm**、測定時間：**10時間**

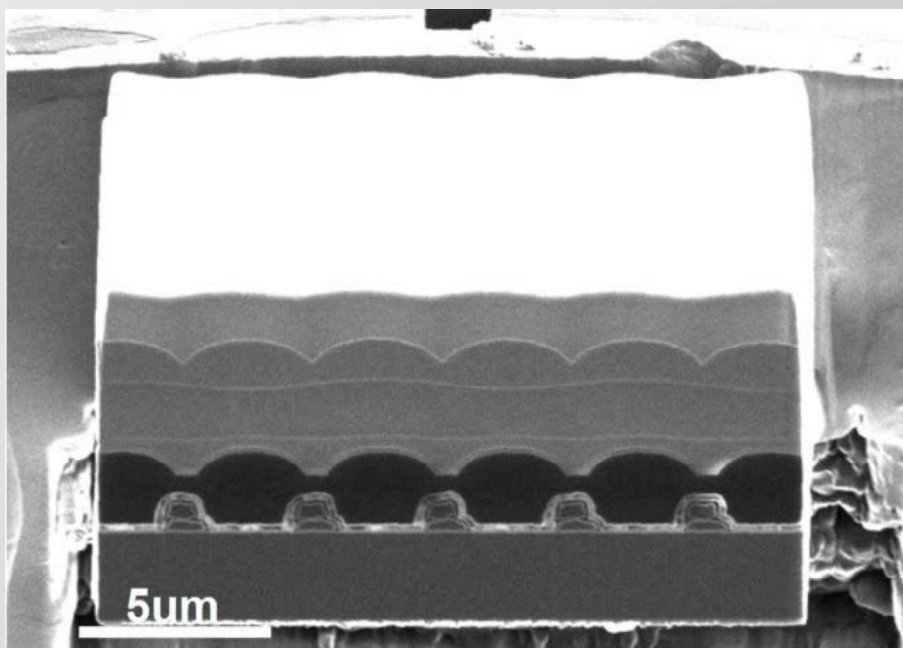
連続断面観察像

Slice Milling

- Slice Pitch : 50 nm
- Mill Area : 20um x 10um
- Slices : 200 slices

Measurement time

- 1 cycle : 3 min
- Total : 10 hours



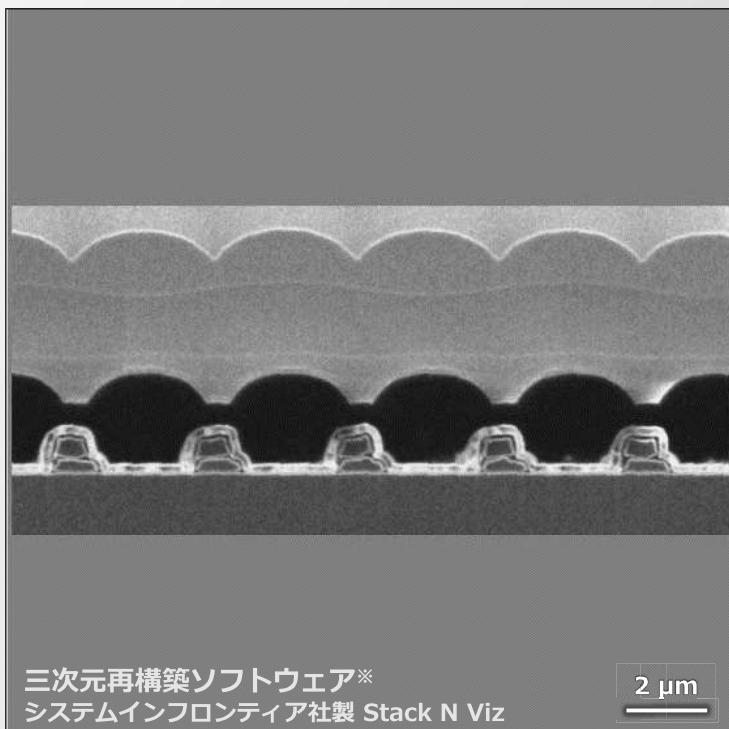
三次元再構築ソフトウェア※
システムインフロンティア社製 Stack N Viz

※オプション

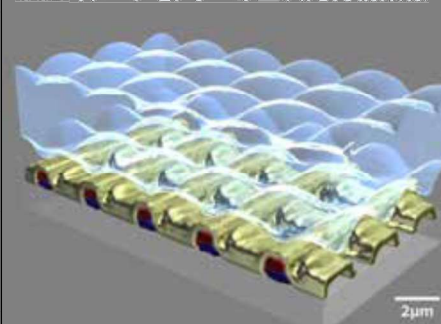
Solutions for Innovation JEOL

SIM像の三次元観察は、試料の構成パーツ毎に観察可能。
デバイスサンプルの**構造解析**や**不良解析**に有効な測定手法です。

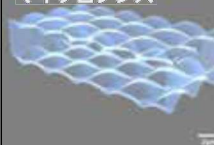
三次元 再構築 動画



CCDイメージセンサーの三次元再構築像



マイクロレンズ



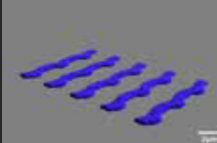
転送電極



遮光膜



蓄積電極



※オプション

Solutions for Innovation JEOL

Contents

FIBの基礎

三次元観察の概要

IRカットフィルター

セラミックコンデンサー

半導体封止材

まとめ

JIB-4000PLUS

Solutions for Innovation JEOL

IRカットフィルター

三次元観察の
アプリケーションデータ

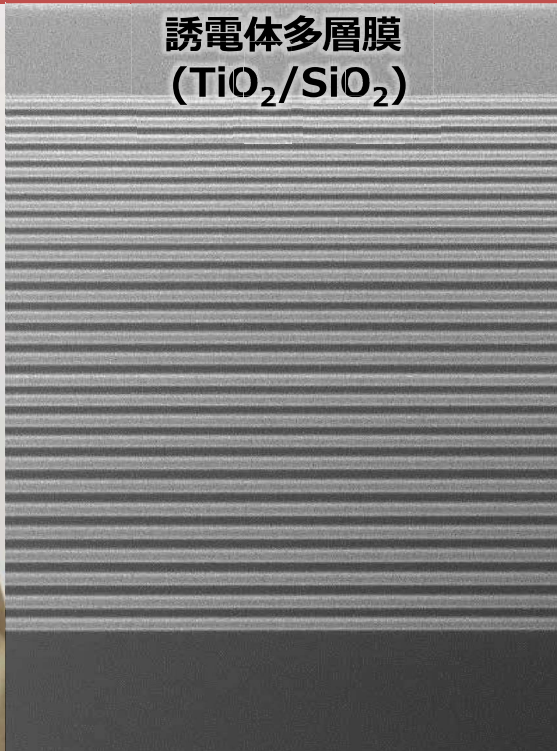
光学製品の高性能化に伴い、より高い品質管理技術が求められている。
異物混入は製品性能を著しく劣化させるため、**欠陥解析**が重要となる。

IRカットフィルター

可視光を透過して、熱線（近赤外光）を
カットする光学フィルター。



誘電体多層膜
($\text{TiO}_2/\text{SiO}_2$)



Solutions for Innovation JEOL

IRカットフィルター

三次元観察の
アプリケーションデータ

IRカットフィルター上の欠陥A～Dにおいて、三次元観察を行い欠陥の
発生原因を推測する。

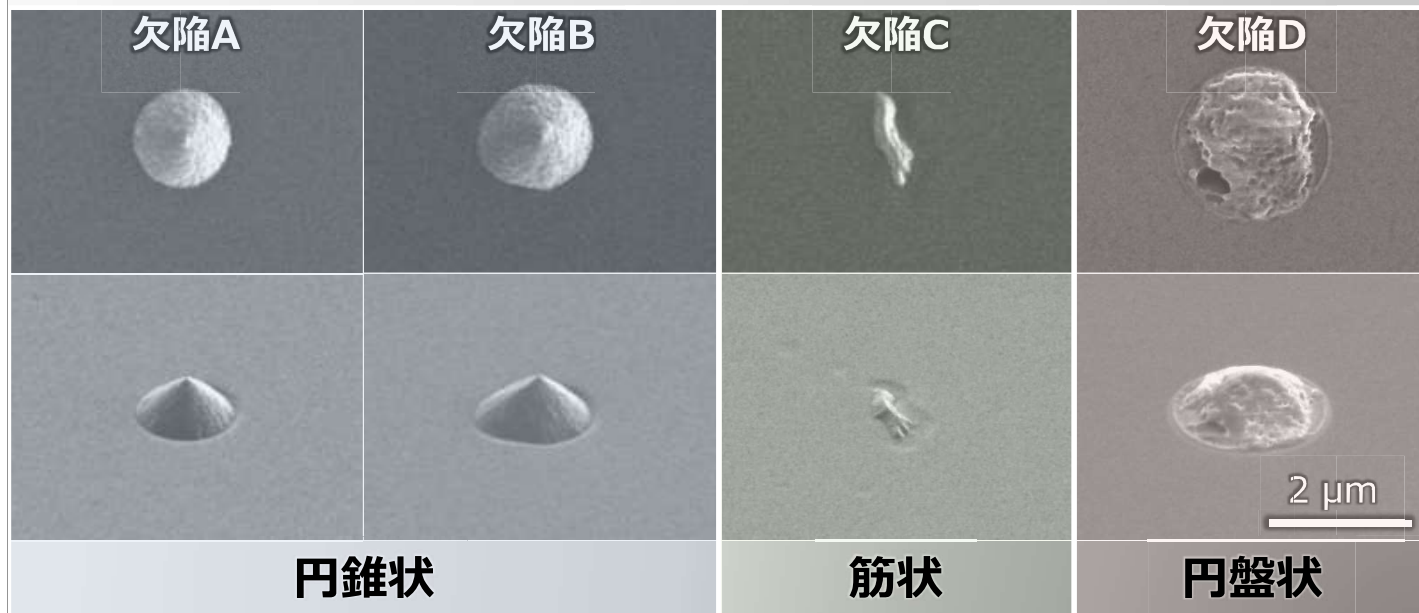
欠陥部の表面観察像（SIM像） 上：上面観察、下：傾斜観察



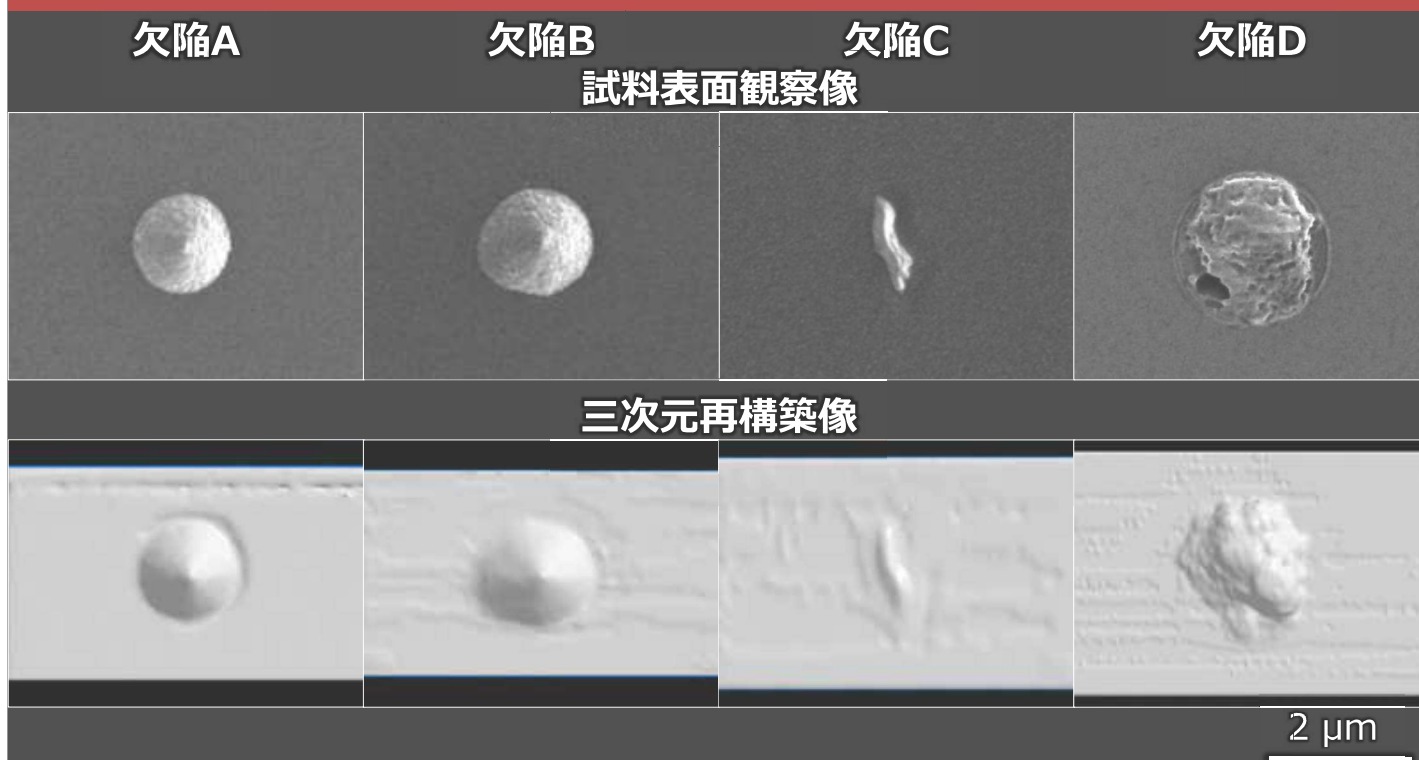
Solutions for Innovation JEOL

表面形状から欠陥A～Dは3種類に分類できる。

欠陥部の表面観察像（SIM像） 上：上面観察、下：傾斜観察



表面観察像（SIM像）と 三次元再構築像の比較
欠陥の表面形状が一致 → 正しく再構築されている。



IRカットフィルター

三次元観察の
アプリケーションデータ

三次元再構築像 トップビュー イメージ

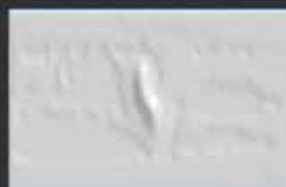
欠陥A



欠陥B



欠陥C



欠陥D



三次元再構築：
システムインフロンティア社製 Stack N Viz

3Dアニメーション作成：
株式会社フォーラムエイト社製 Shade3D

2 μ m

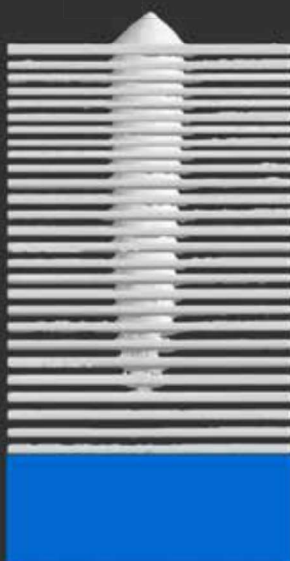
Solutions for Innovation JEOL

IRカットフィルター

三次元観察の
アプリケーションデータ

三次元再構築像 サイドビュー イメージ

欠陥A



欠陥B



欠陥C



欠陥D



誘電体多層膜 ($\text{TiO}_2/\text{SiO}_2$)
白色部： TiO_2

ガラス基板

三次元再構築：
システムインフロンティア社製 Stack N Viz

3Dアニメーション作成：
株式会社フォーラムエイト社製 Shade3D

2 μ m

Solutions for Innovation JEOL

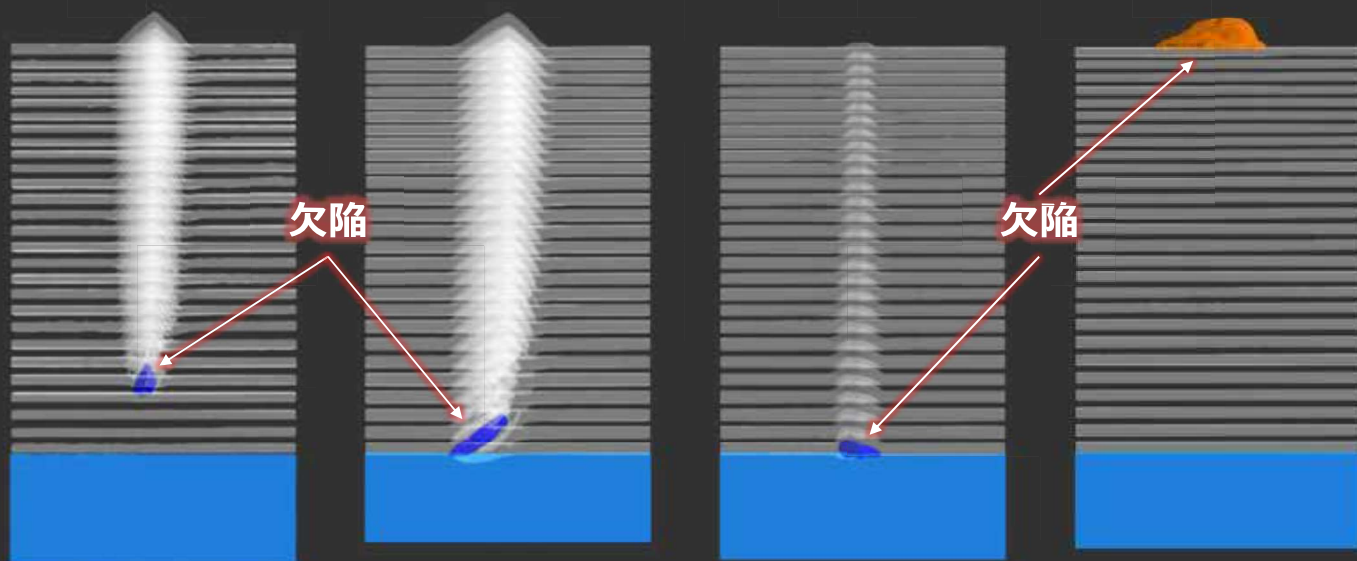
三次元再構築像 サイドビュー イメージ（透過表示）

欠陥A

欠陥B

欠陥C

欠陥D



三次元再構築：
システムインフロンティア社製 Stack N Viz

3Dアニメーション作成：
株式会社フォーラムエイト社製 Shade3D

2 μ m

Solutions for Innovation JEOL

三次元再構築像 チルトビュー イメージ（欠陥部）

欠陥A

欠陥B

欠陥C

欠陥D



三次元再構築：
システムインフロンティア社製 Stack N Viz

3Dアニメーション作成：
株式会社フォーラムエイト社製 Shade3D

2 μ m

Solutions for Innovation JEOL

三次元再構築像 チルトビュー イメージ（欠陥部）

欠陥A

欠陥B

欠陥C

欠陥D

多層膜中の
酸化シリコン
異物



多層膜最下層の
酸化シリコン
異物



多層膜最下層の
酸化シリコン
異物



試料表面上の
外来異物



三次元再構築：
システムインフロンティア社製 Stack N Viz

3Dアニメーション作成：
株式会社フォーラムエイト社製 Shade3D

2 μ m

Solutions for Innovation JEOL

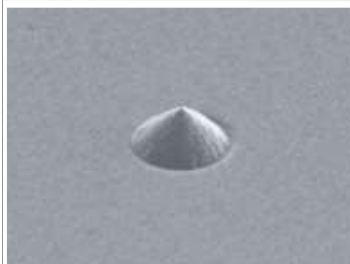
欠陥分類の比較 三次元再構築像は 異物の発生工程と材質が確認できる。

欠陥A

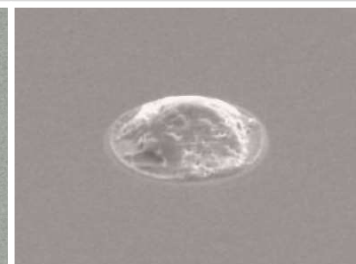
欠陥B

欠陥C

欠陥D



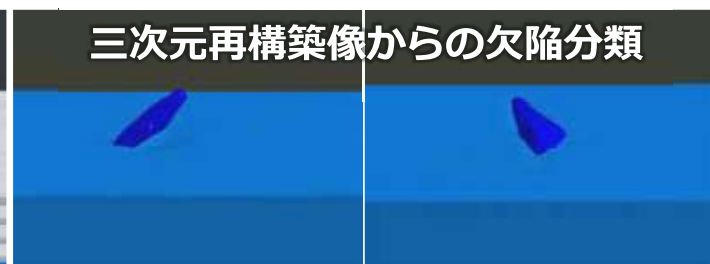
試料表面観察像からの欠陥分類



円錐状

筋状

円盤状



三次元再構築像からの欠陥分類



多層膜中の
酸化シリコン異物

多層膜最下層の
酸化シリコン異物

試料表面上の
外来異物

Solutions for Innovation JEOL

Contents

FIBの基礎

三次元観察の概要

IRカットフィルター

セラミックコンデンサー

半導体封止材

まとめ

Solutions for Innovation JEOL

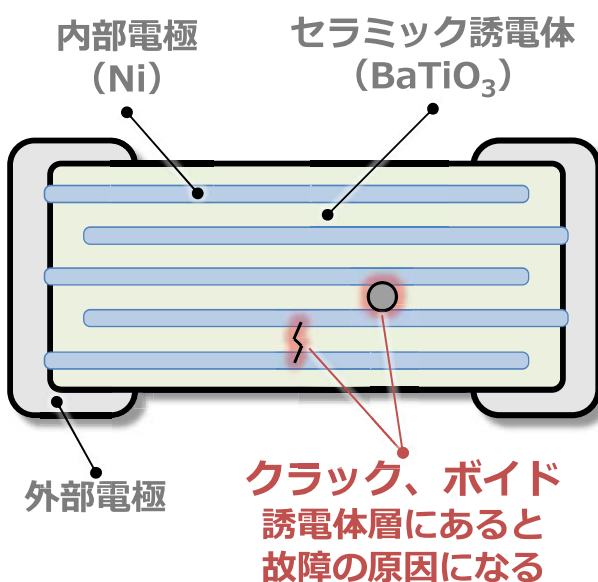
セラミックコンデンサー

三次元観察の
アプリケーションデータ

セラミックコンデンサー内部にあるボイドやクラックは内部リーク（絶縁抵抗劣化）故障の原因となる。三次元観察により**ボイド**を可視化した。

セラミックコンデンサー
電気を蓄えたり放出したりする電子部品

積層セラミックコンデンサの構造



画像素材：PIXTA

Solutions for Innovation JEOL

セラミックコンデンサー

三次元観察の
アプリケーションデータ

連続スライス断面観察機能により、**250枚**の断面観察像を収集。

スライス間隔：**40nm**、測定時間：**11時間**

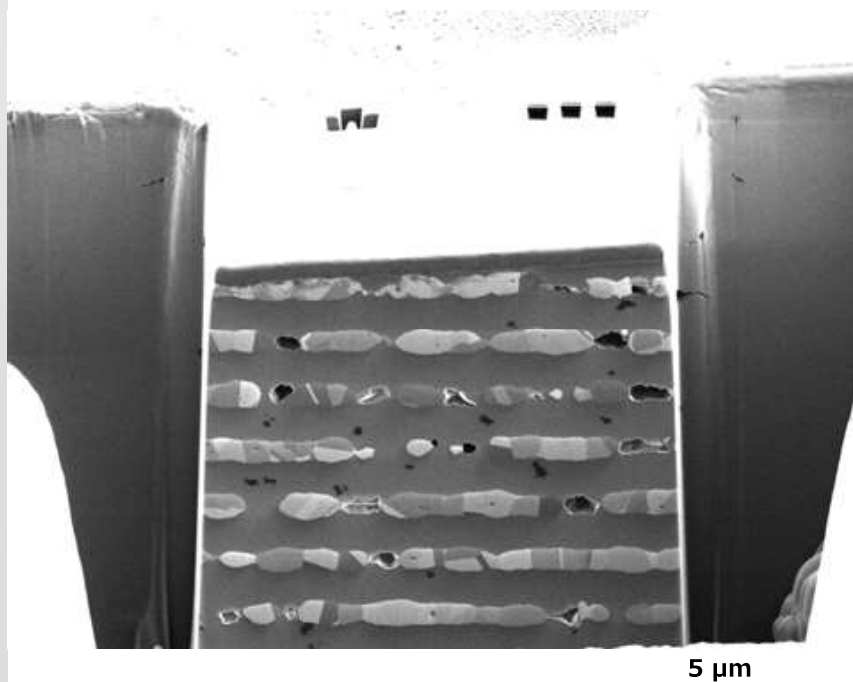
Slice Milling

- Slice Pitch : 40 nm
- Mill Area : 20 μ m x 10 μ m
- Slices : 250 slices

Measurement time

- 1 cycle : 2.6 min
- Total : 11 hours

スライス断面観察像 (SIM像)



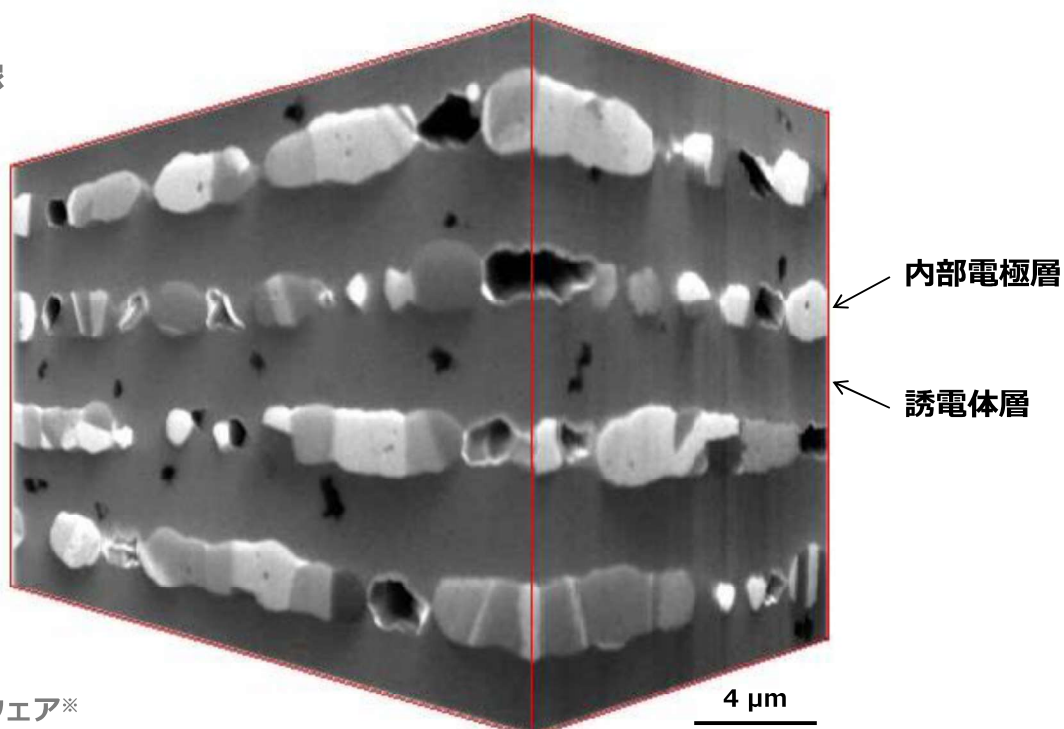
Solutions for Innovation JEOL

セラミックコンデンサー

三次元観察の
アプリケーションデータ

セラミックコンデンサーの三次元再構築像 (ボリューム表示)
内部電極層と誘電体層を三次元的に可視化。

三次元再構築像



三次元再構築ソフトウェア※
システムインフロンティア社製 Stack N Viz

※オプション

Solutions for Innovation JEOL

セラミックコンデンサー

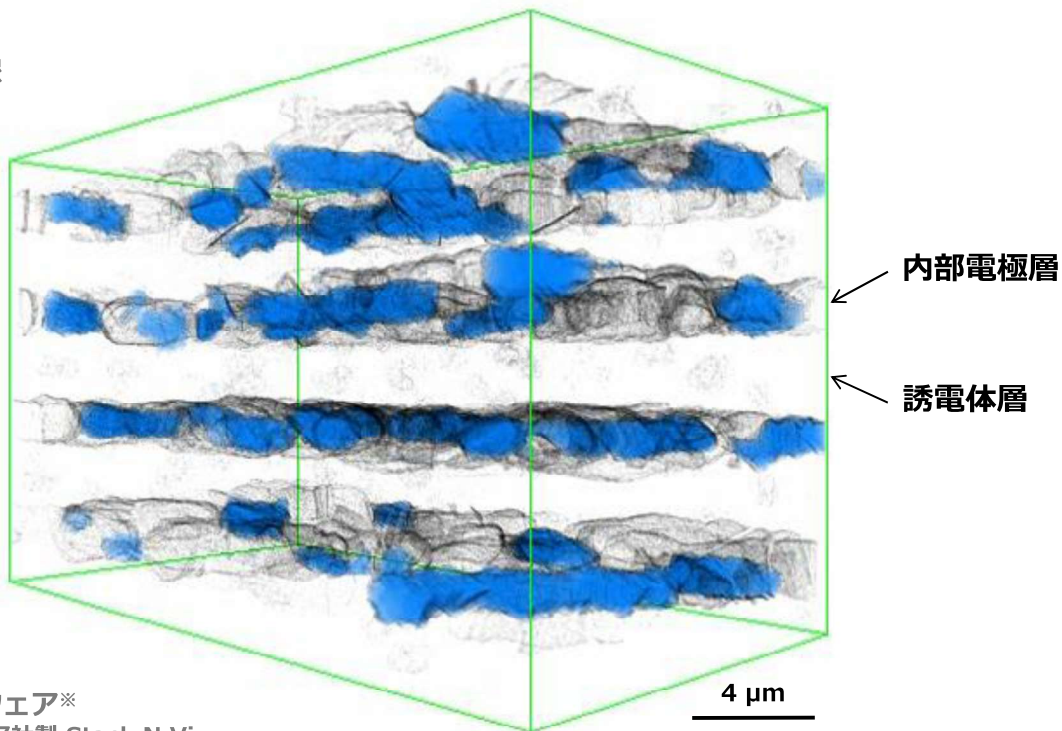
三次元観察の
アプリケーションデータ

セラミックコンデンサーの三次元再構築像（透過表示）

ポイドは誘電体層にはなく、**内部電極層**に存在している。

三次元再構築像

青色：
ポイド領域



三次元再構築ソフトウェア※
システムインフロンティア社製 Stack N Viz

※オプション

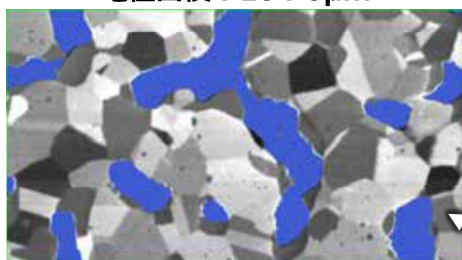
Solutions for Innovation JEOL

セラミックコンデンサー

三次元観察の
アプリケーションデータ

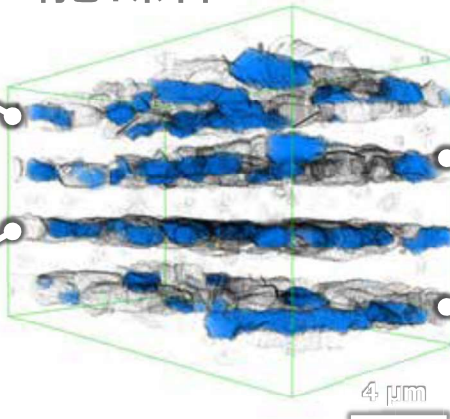
三次元観察の結果：内部電極領域に対する空隙率 = **12.1 %**

電極面積：184.8μm²



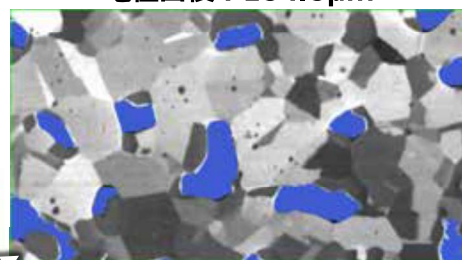
空隙面積：32.5μm²
空隙率：**17.6 %**

三次元再構築像（透過像）
青色：ポイド

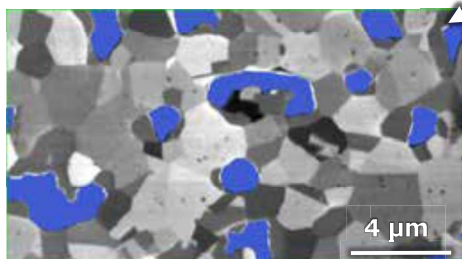


総電極面積：739.2μm²
総空隙面積：89.3μm²
空隙率：**12.1 %**

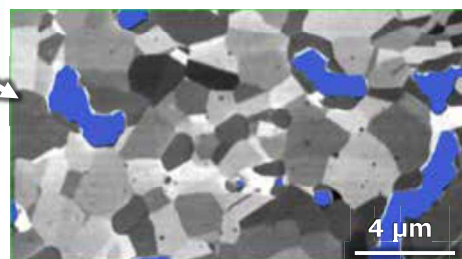
電極面積：184.8μm²



空隙面積：19.2μm²
空隙率：**10.4 %**



空隙面積：21.5μm²
空隙率：**11.6 %**



空隙面積：16.2μm²
空隙率：**8.7 %**

Solutions for Innovation JEOL

Contents

FIBの基礎

三次元観察の概要

IRカットフィルター

セラミックコンデンサー

半導体封止材

まとめ

Solutions for Innovation JEOL

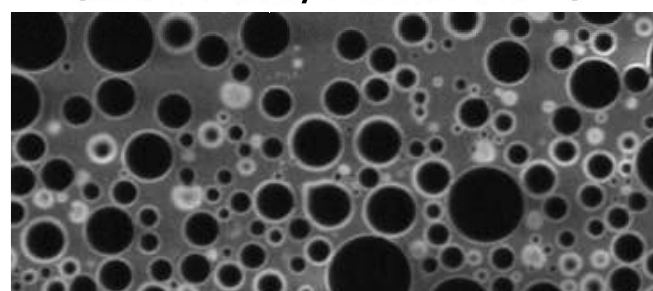
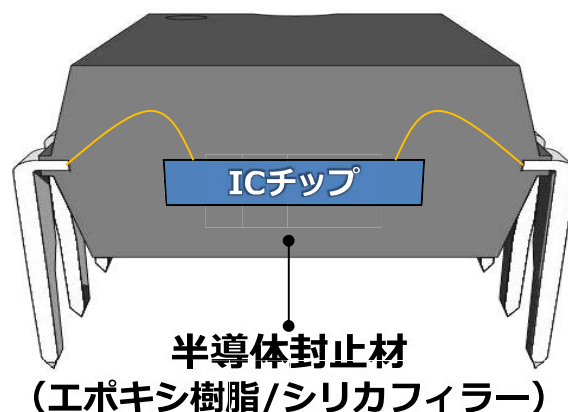
半導体封止材

三次元観察の
アプリケーションデータ

シリカフィラーにより封止材の流動性、熱膨張率、強度などを制御している。
SIM像の三次元観察により、シリカフィラーの**粒度分布**測定を行った。

半導体封止材

半導体素子を熱や水分などの外部ストレスから保護するためのパッケージ材料。



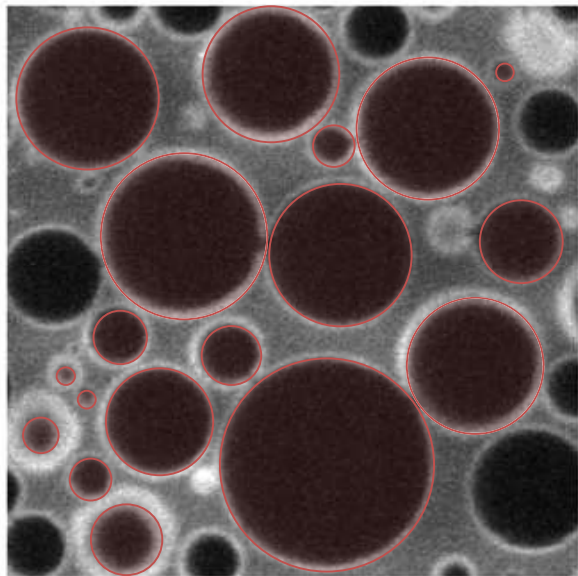
画像素材：PIXTA

Solutions for Innovation JEOL

樹脂中のシリカフィラーの粒度分布解析。

→ シリカフィラーの大きさを正しく**計測**するには？

断面観察像(二次元画像)から
計測した粒子サイズ



断面観察像（二次元）
の計測

間違ったサイズ

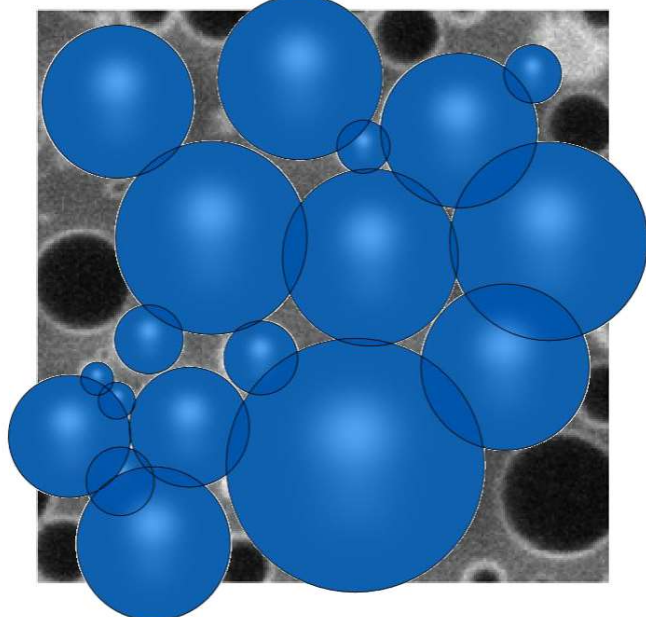


三次元画像による計測

樹脂中のシリカフィラーの粒度分布解析。

→ シリカフィラーの大きさを正しく**計測**するには？

三次元再構築像から計測した
粒子サイズ



断面観察像（二次元）
の計測

間違ったサイズ



三次元画像による計測

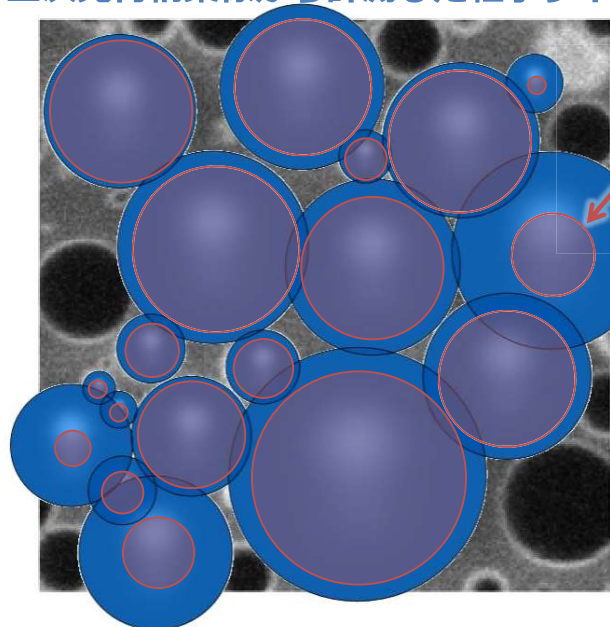
正しいサイズ

樹脂中のシリカフィラーの大きさを正しく計測するには？

→ **三次元再構築像**により計測する。

断面画像から計測した粒子サイズ

三次元再構築像から計測した粒子サイズ



断面観察像（二次元）
の計測

間違ったサイズ

三次元画像による計測

正しいサイズ

Solutions for Innovation JEOL

連続スライス断面観察機能により、**300枚**の断面観察像を収集。

スライス間隔：**10nm**、測定時間：**12時間**

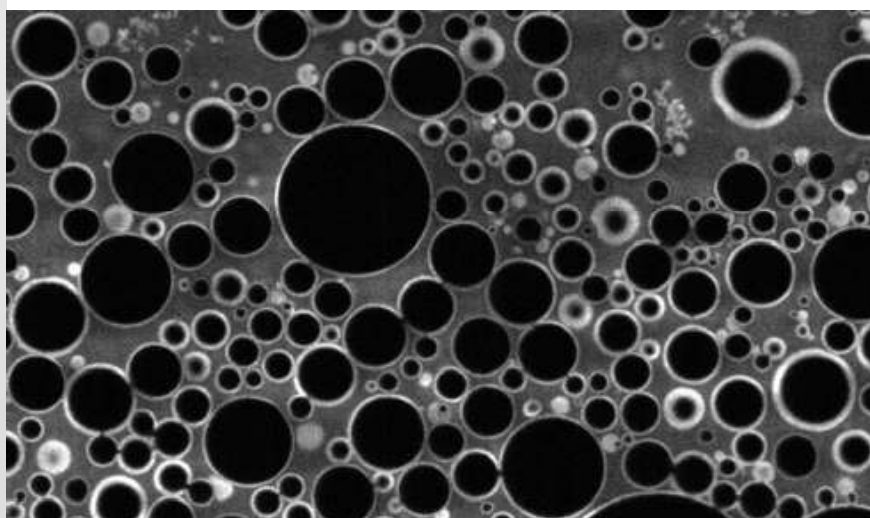
Slice Milling

- Slice Pitch : 10 nm
- Mill Area : 10um x 3um
- Slices : 300 slices

Measurement time

- 1 cycle : 2.4 min
- Total : 12 hours

スライス断面観察像（SIM像）

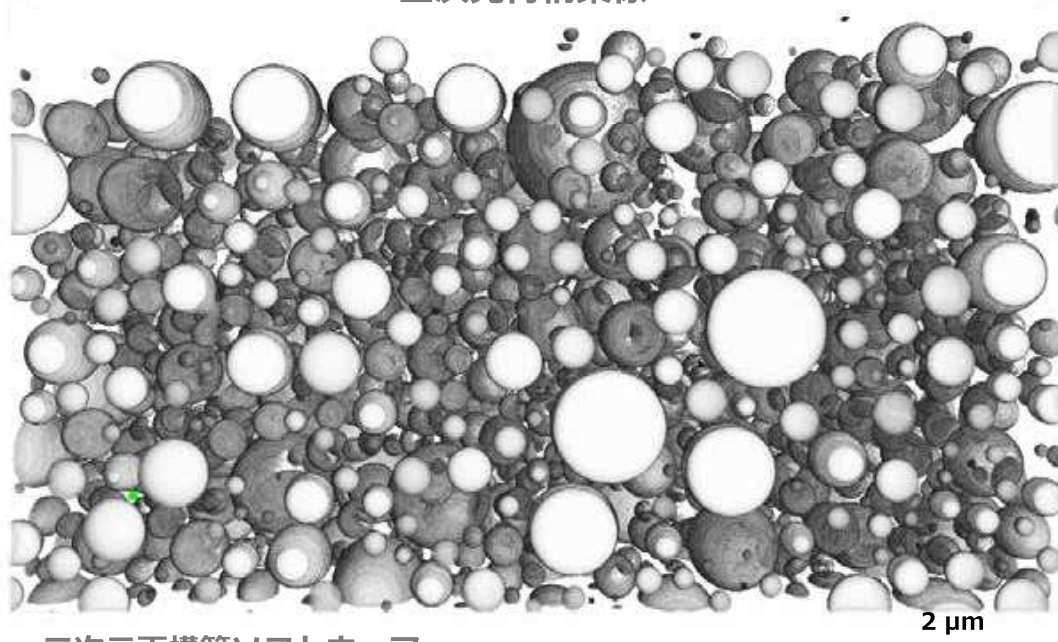


2 μ m

Solutions for Innovation JEOL

半導体封止材の三次元観察から、
充填材（シリカフィラー）の**粒度分布**を測定。

三次元再構築像



三次元再構築領域
幅 : 9.6 μm
高さ: 5.6 μm
奥行: 2.3 μm
体積: 124 μm³

シリカフィラー
個数: 1542
体積: 20.1 μm³
充填率: 16.2 vol%

三次元再構築ソフトウェア

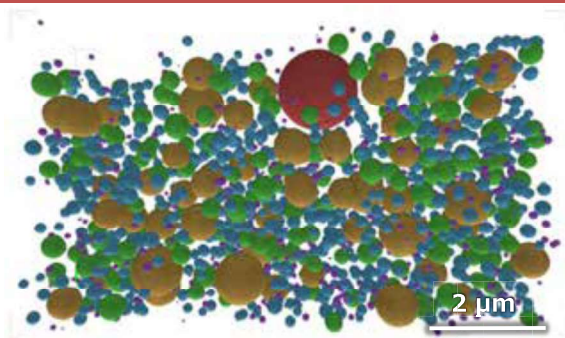
日本ビジュアルサイエンス社製 三次元画像解析ソフトウェア ExFact VR ※2

※2 日本ビジュアルサイエンス株式会社までお問合せ下さい。

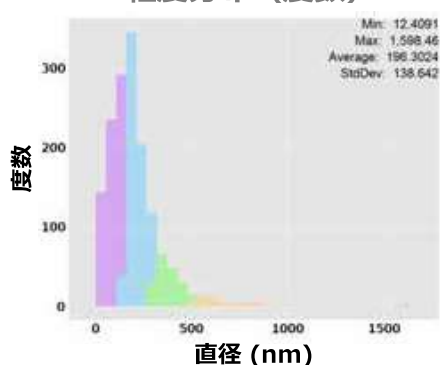
Solutions for Innovation JEOL

NVS社製ソフトウェアのExFact VR※2により粒度分布を解析。
解析結果から、平均粒径は約**200 nm**、主な形状は**球状**であった。

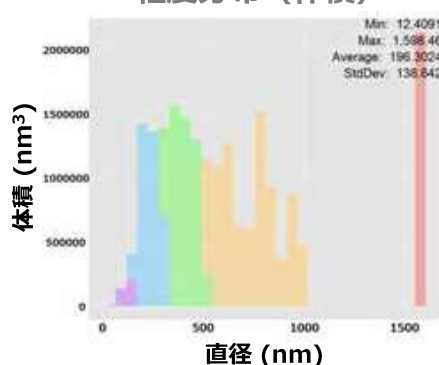
三次元再構築像
粒径による色分け



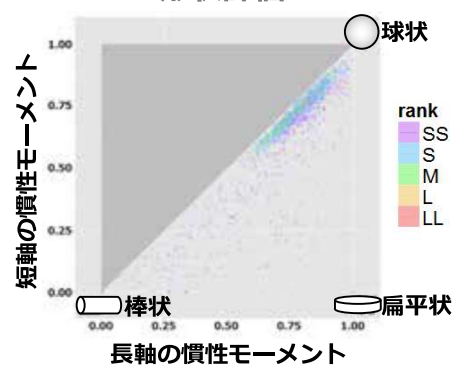
粒度分布（度数）



粒度分布（体積）



形状評価



※2 日本ビジュアルサイエンス株式会社までお問合せ下さい。

Solutions for Innovation JEOL

Contents

FIBの基礎

三次元観察の概要

IRカットフィルター

セラミックコンデンサー

半導体封止材

まとめ

Solutions for Innovation JEOL

まとめ

- JIB-4000PLUSは、**SIM像による三次元観察**が行える。
- SIM像は3つの特徴があり、SEM像とは異なるコントラストが得られる。
 - 最表面観察
 - チャンネリングコントラスト
 - 組成コントラスト
- SIM像による三次元観察は、金属材料など **電子機器部品への応用**が期待される。
 - IRカットフィルターの欠陥解析
 - セラミックコンデンサのボイド観察
 - 半導体封止材のシリカフィラーの粒度分布

Solutions for Innovation JEOL