

2023年度
第2回ARIM量子・電子マテリアル領域セミナー
「電子ビーム露光技術 ～進化する電子ビーム露光装置～」

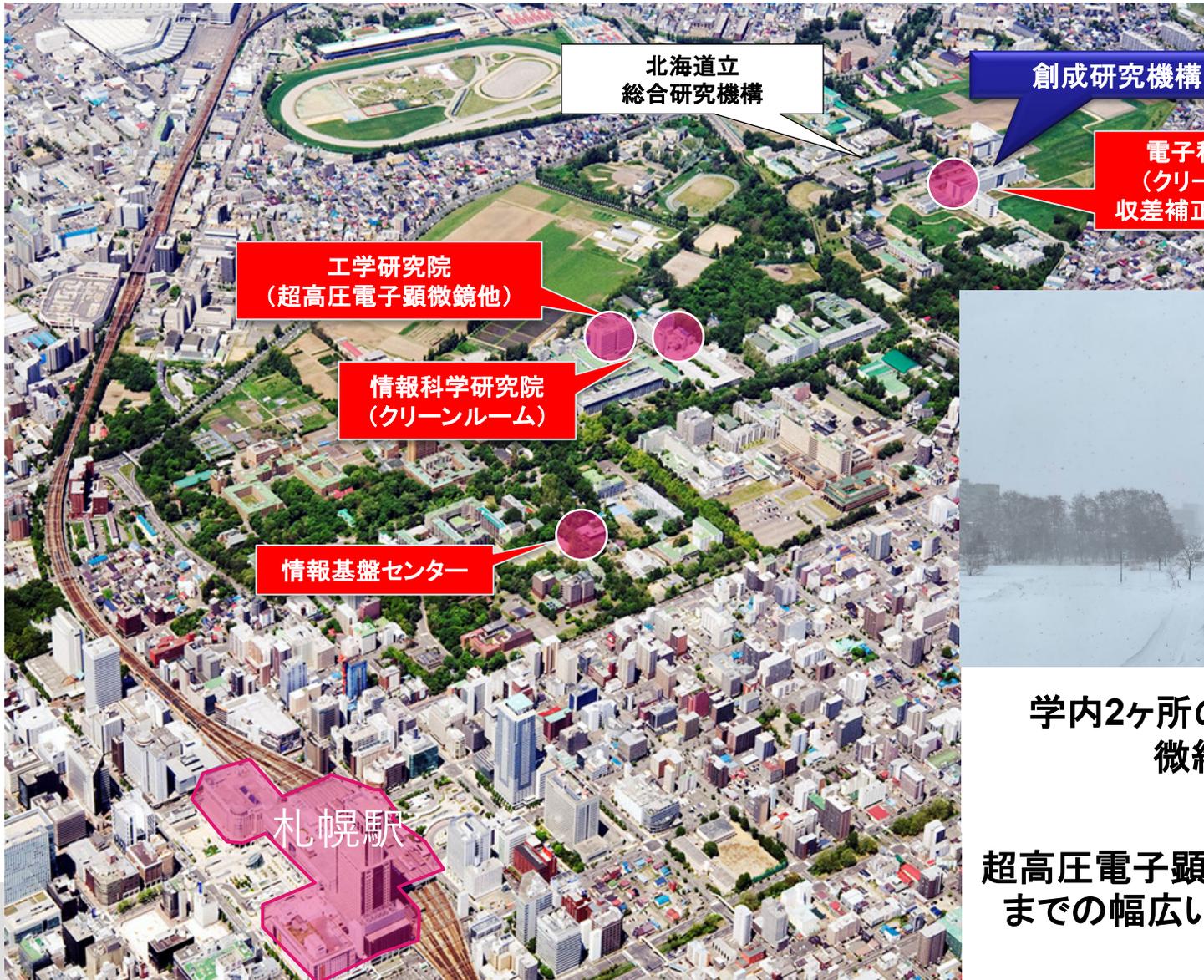
多様なデバイス作製へのEBリソグラフィー応用

2024年2月28日

北海道大学 創成研究機構 ナノテクノロジー連携研究推進室

松尾 保孝

北海道大学 機関紹介

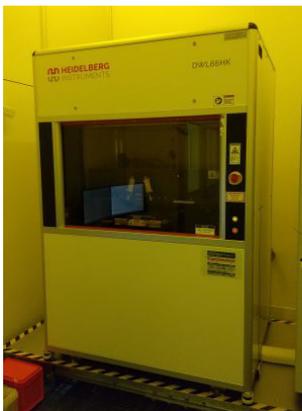
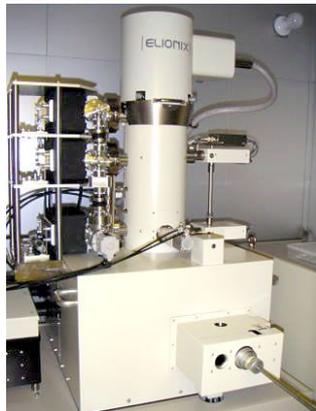


学内2ヶ所のクリーンルームで
微細加工支援

超高圧電子顕微鏡から表面分析機器
までの幅広い装置で構造解析支援

微細加工装置群 (33台)

構造解析装置群 (22台)



超高精度電子線描画やレーザー描画装置による微細加工



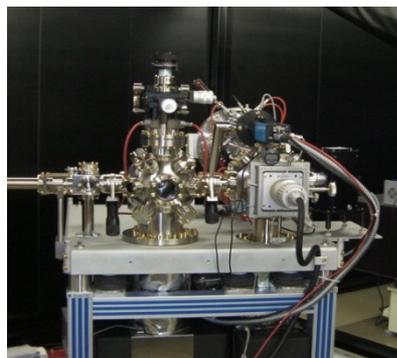
収差補正電子顕微鏡やFIB-SEMによる構造解析



加熱・ラジカル銃による
反応性スパッタ



プラズマALD
(R2 補正装置)



時間分解光電子顕微鏡
による状態解析



紫外可視近赤外顕微分光装置
による基礎データ収集

55台の装置で加工・分析の一体的支援

本学の支援装置(電子ビーム描画装置)

デバイス作製支援用装置 3台(エリオニクス製)



ELS-7000HM
加速電圧: 100kV



ELS-F125
加速電圧: 100kV
大電流化、Windows

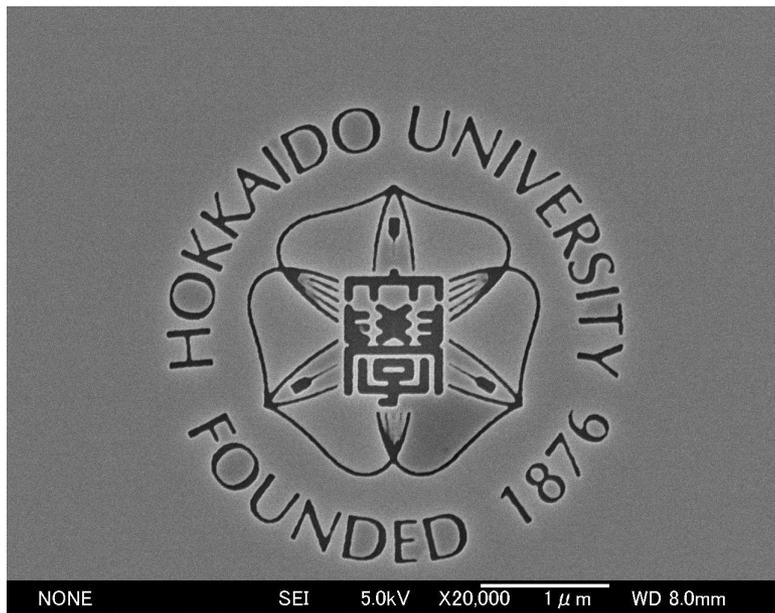
ELS-F130HM



加速電圧: 130kV
8インチ角対応
高クロック化、曲面描画機能

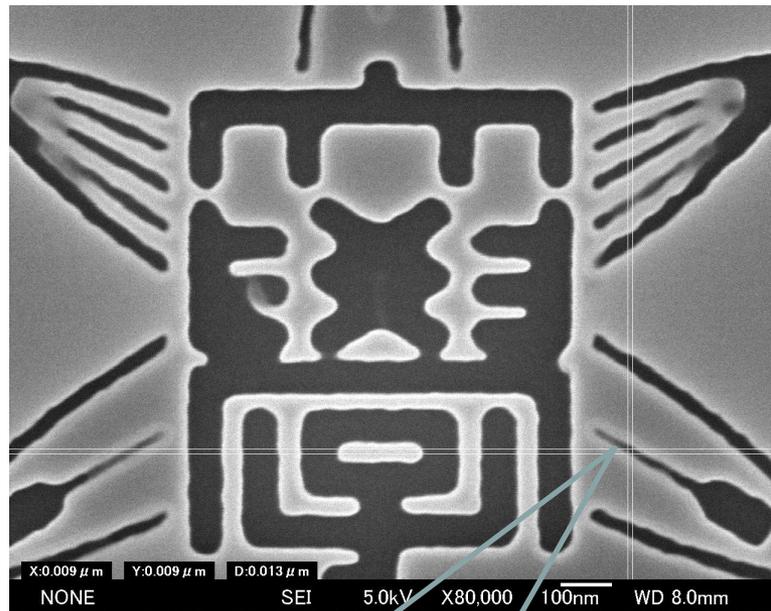
全ての装置がクリーンルーム内の恒温ブース(磁場対策あり)に設置され、描画環境も整備されています。

ELS-F130HMによる微小構造作製例



W-Si(30nm)膜
他移動大学の校章パターン描画後に
SF₆でドライエッチングしたサンプルのSEM像

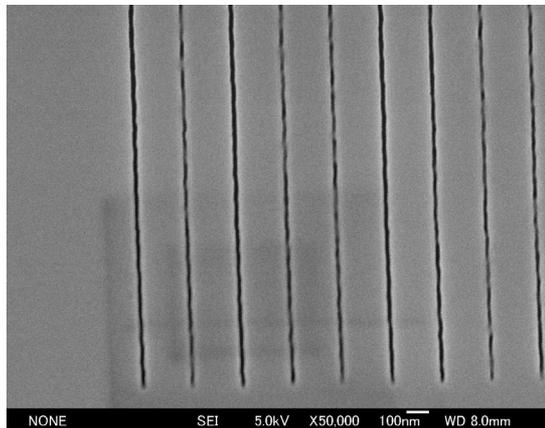
100pAで約1分で描画終了



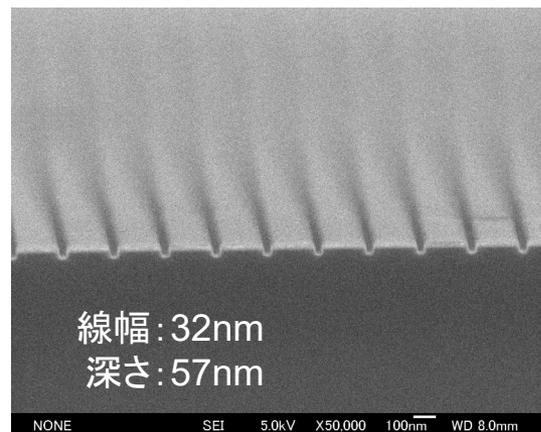
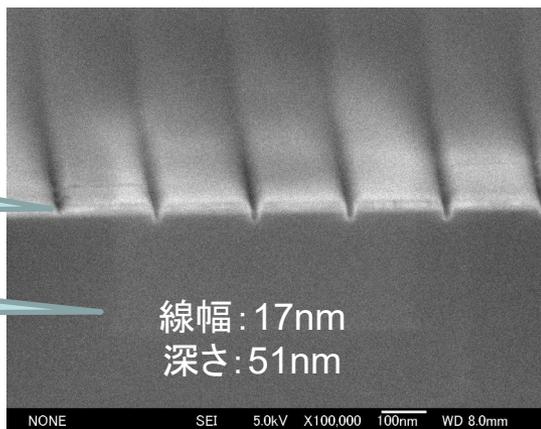
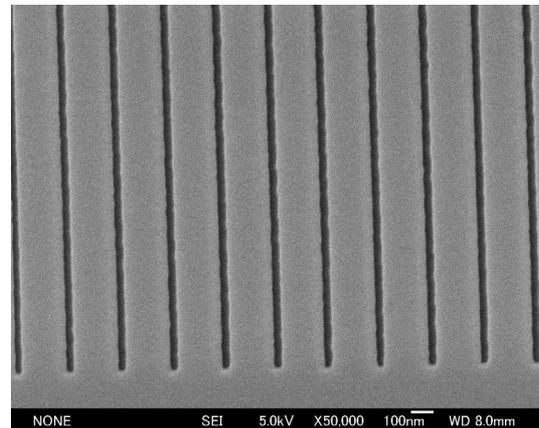
このあたりの線幅が13nm

ELS-F130HMによる微小構造作製例

設計線幅20nm

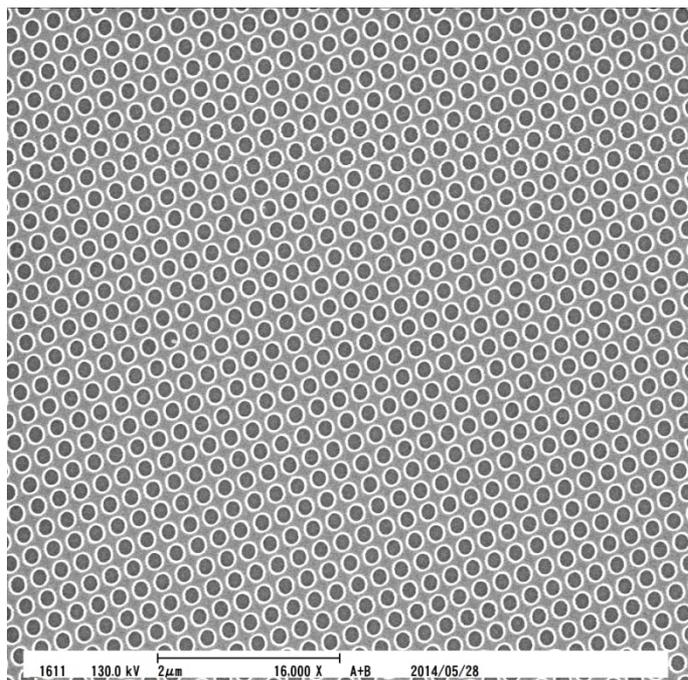


設計線幅30nm

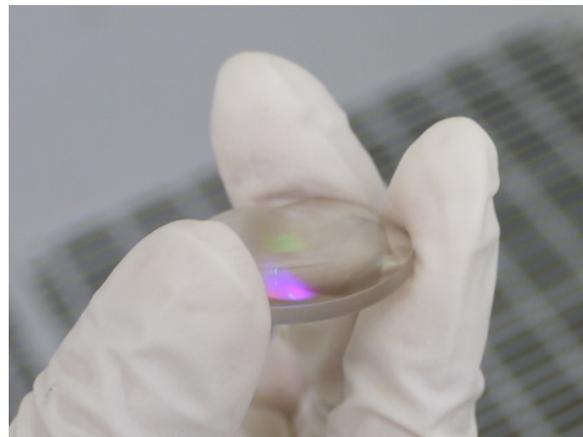


曲面描画機能

ハイトセンサーを用いず、曲率データ入力により曲面状にパターンを描画する機能



現像後のSEM像
曲面状にきれいにパターン形成されている。



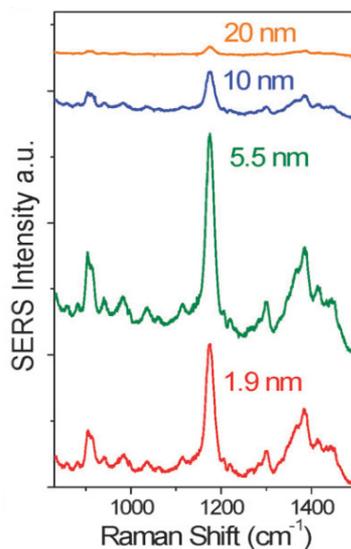
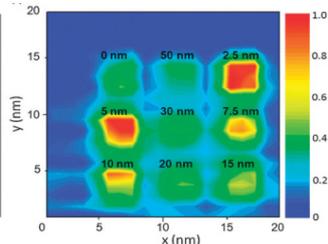
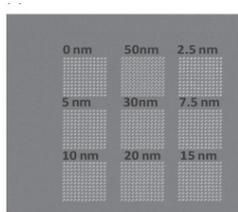
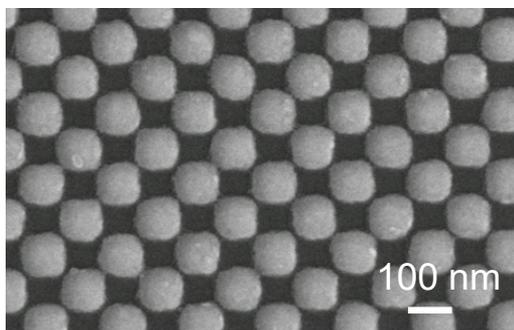
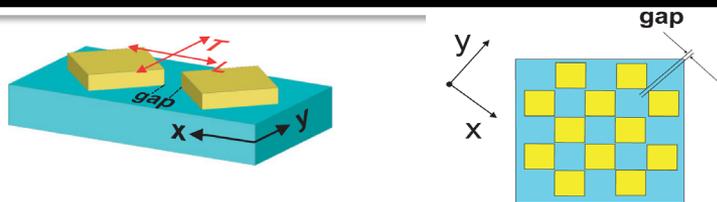
現像後の合成石英製平凸レンズ写真
直径 25 mm 曲率半径 34.39 mm
レジスト(ZEP-520A)上に描画

チップのつなぎ精度、描画条件等の最適化を行い、
曲面描画の大面积化へ

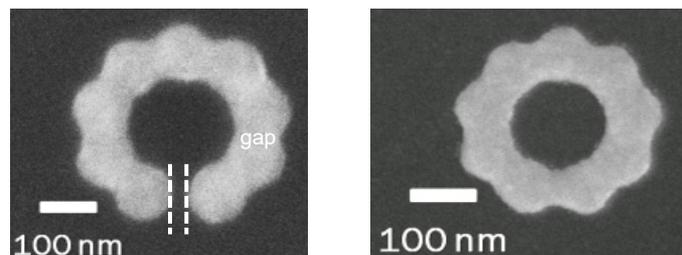
プラズモニックデバイス

金属ナノ構造と光の相互作用による検出・エネルギー変換デバイス

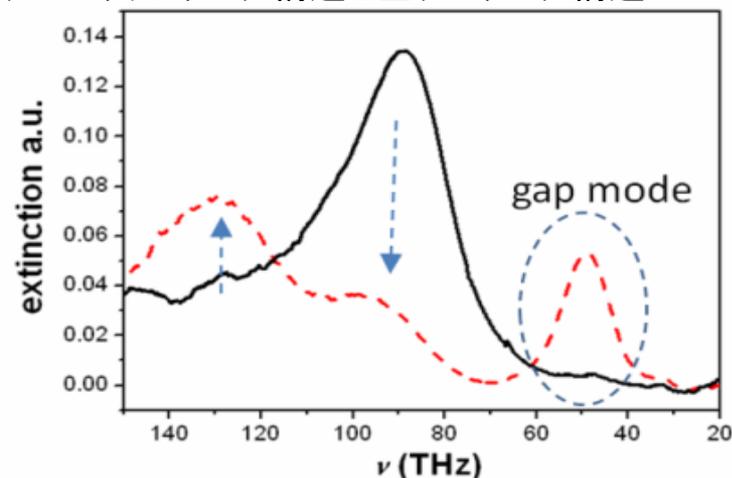
表面増強ラマン散乱を誘起するナノデバイス



テラヘルツ検出ナノデバイス



金ナノスリットリング構造と金ナノリング構造のSEM像



金ナノスリットリング構造と金ナノリング構造の吸収スペクトル

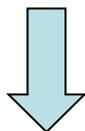
金ナノ構造(左)構造とギャップ間距離制御により増強されるラマン散乱光(右)

高速・大面積描へ対応

プラズモニックデバイスにおいて

- ・吸収スペクトル測定(プラズモン吸収)に通常の分光光度計を活用する
- ・センサーデバイスなど実測可能な値を導き出す必要性

目視・光学顕微鏡等で観察可能
分析装置の光照射範囲

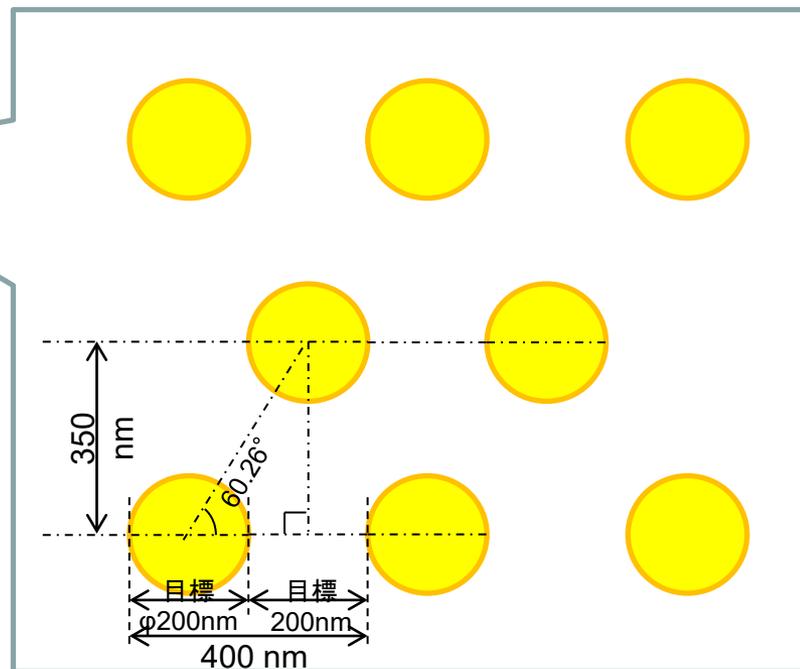
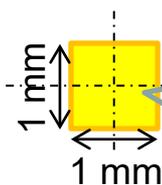


1 mm角以上を求められることが多い。

大面積化 = 時間がかかる！

200 nm程度の金ドット作製(リフトオフ法)

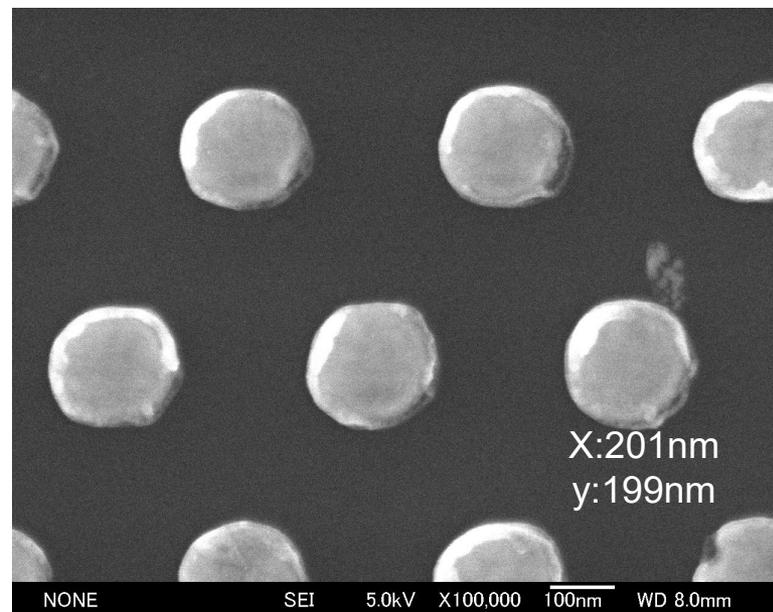
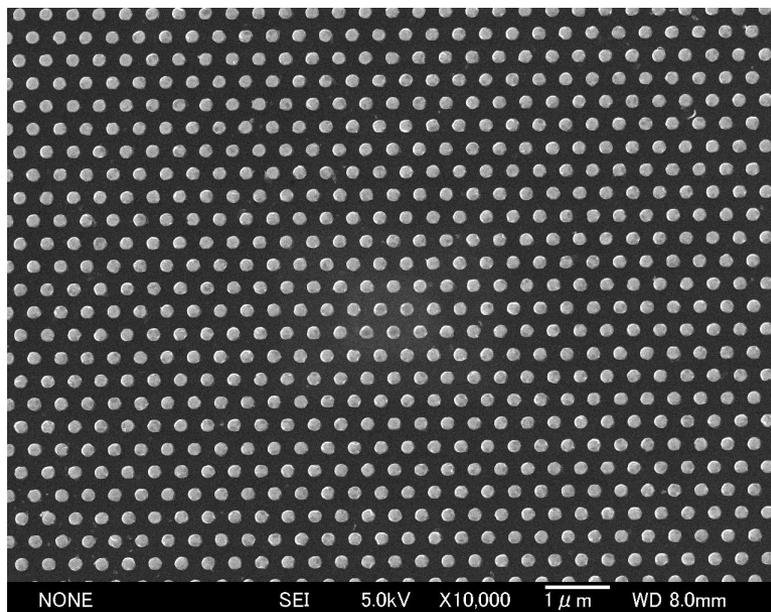
目標パターン



高速・大面積描への取り組み(0)

塗りつぶしによる描画（従来通りCADにて円を設計しての描画）

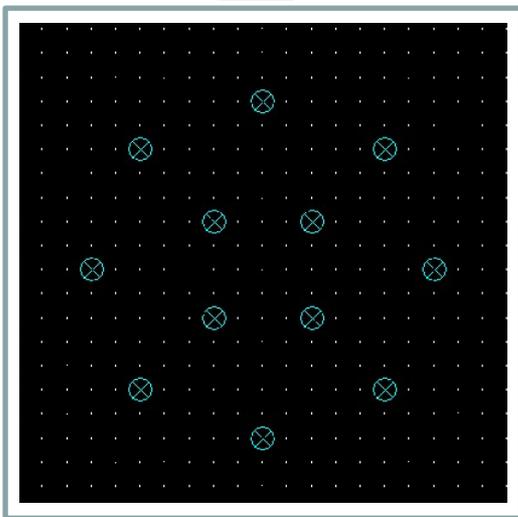
5nA
円の塗りつぶし



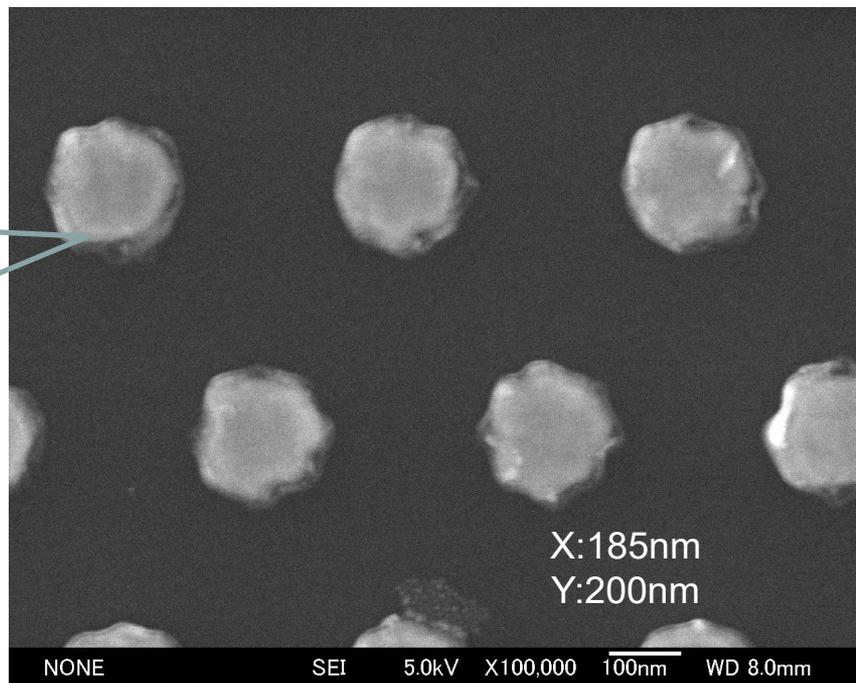
特別な設計をすることなく精度の高い描画が可能

スキップスキャンによる描画 (間引き描画)

5nA
スキップスキャン 設計



1つの円を12点で描画



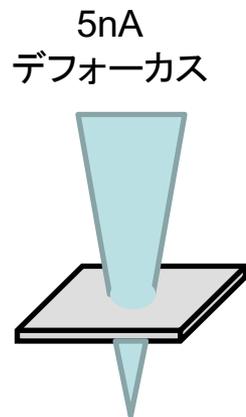
少し8角形に近い

ほぼ円に近い描画を実現。

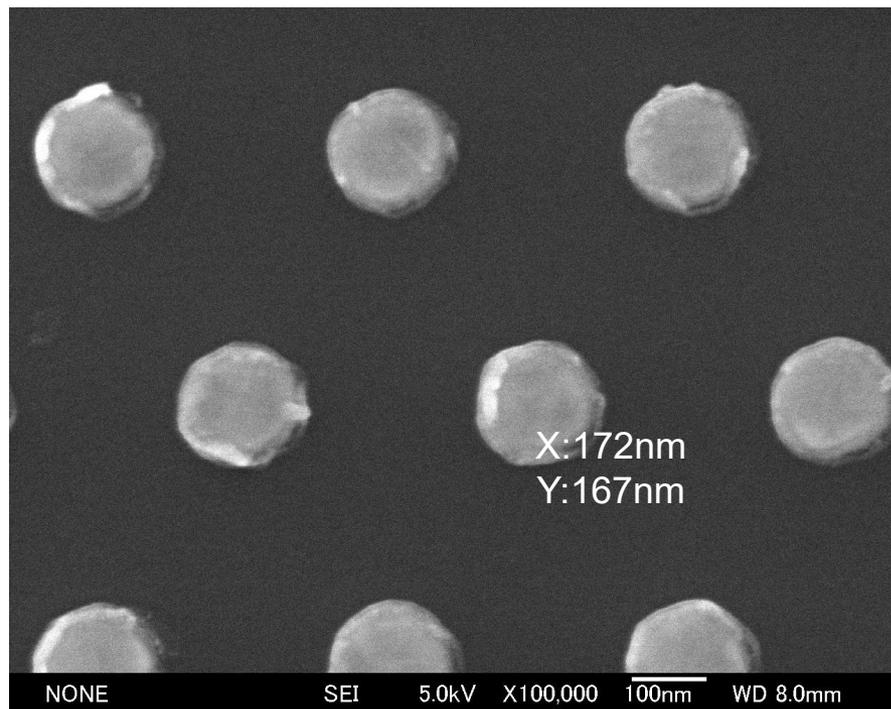
点数を増やせば形状は円に近付くが描画時間が長くなる

高速・大面積描への取り組み(2)

デフォーカスによる描画



電子ビームの焦点位置をずらすこと
でΦ200nmのビーム形状を実現



スキップスキャンよりも比較的円に近い
スキップスキャンは矩形にも応用できるが
こちらは形状が限定される
(ビームのアライメントも重要！)

円形パターン(1mm角)の描画速度の比較

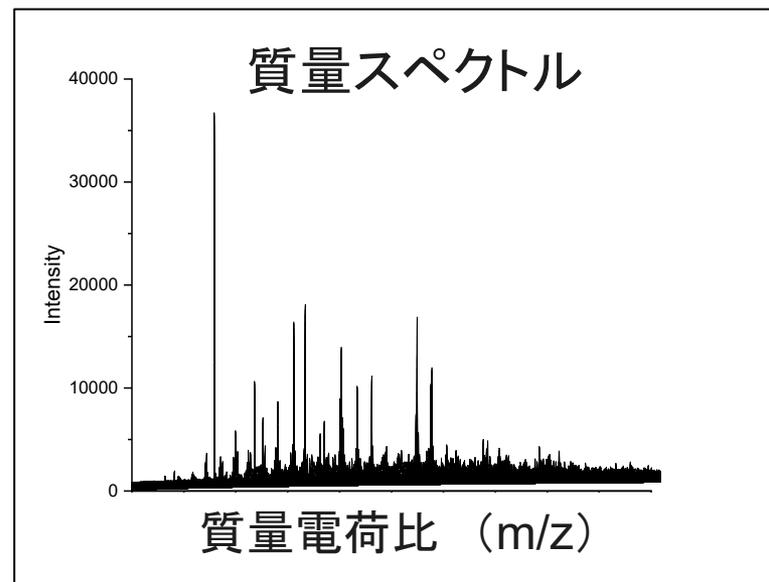
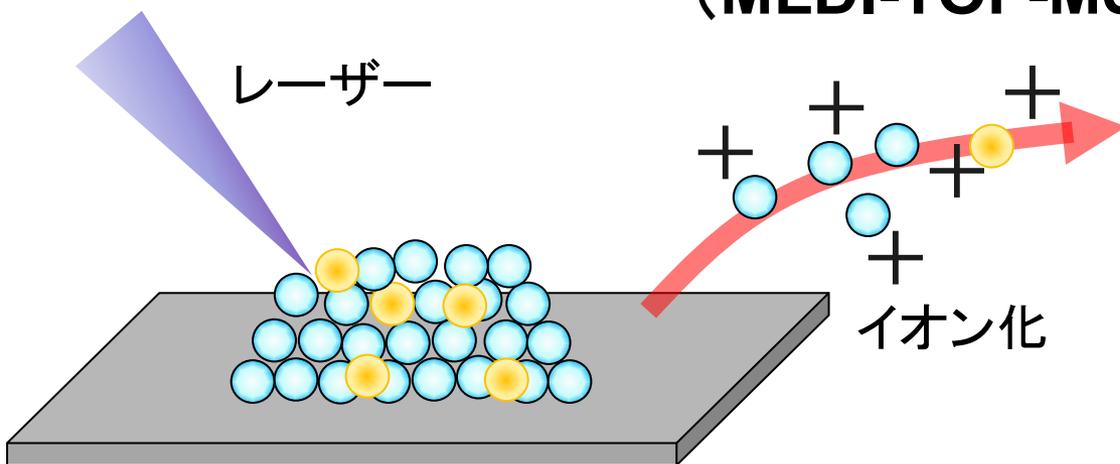
| ビーム電流 | 描画方法 | F125で1mm角 描画所要時間 | F130で1mm角 描画所要時間 | 1Disc当たりの照射点数 |
|-------|----------|-----------------------------------|---------------------|---------------|
| 4.3nA | 円の塗りつぶし | 186分 | | 約250点 |
| 5nA | 円の塗りつぶし | (最小Dose time0.06 μ s の為不可) | 18.8分 | 約250点 |
| 5nA | スキップスキャン | 9.7分 | 9.7分 | 12点 |
| 5nA | デフォーカス | 4.1分 | 4.1分 | 1点 |

クロック数の向上により、大電流を最大限活かした描画が可能

目的に応じて使い分け

シリコンチップへの微細加工応用例（質量分析）

マトリックス支援レーザー脱離イオン化質量分析 (MLDI-TOF-MS)



- 測定対象分子
- マトリックス (光吸収補助剤)

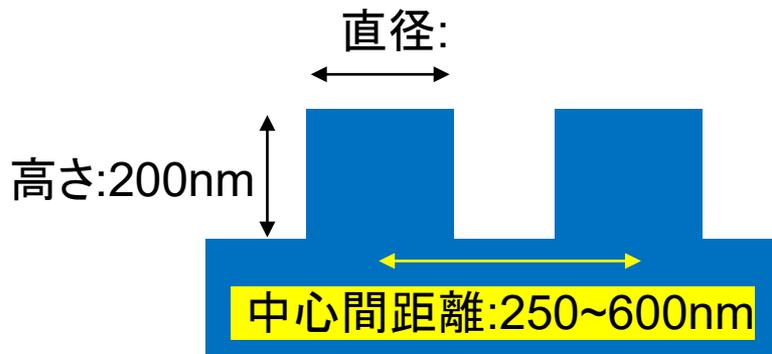
ブルカー-ultrafleXtreme



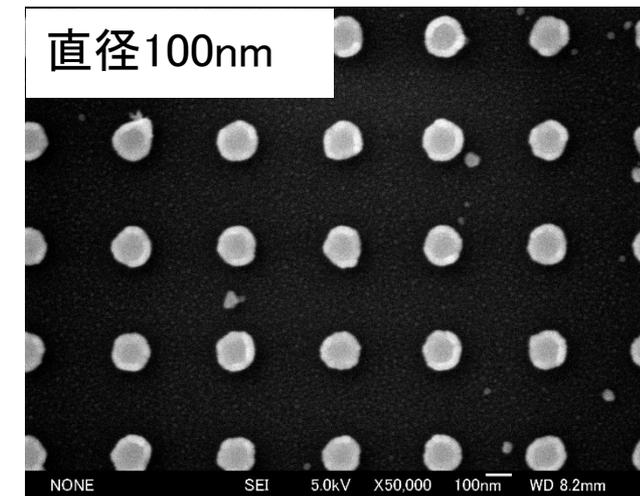
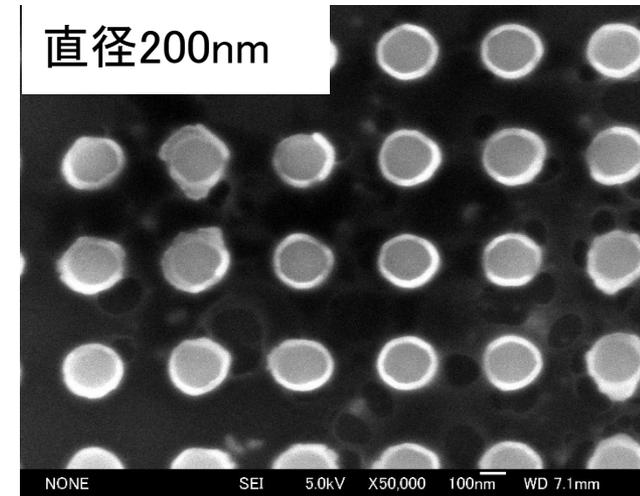
マトリックス不要の分析チップ開発

シリコンチップへの微細加工応用例（質量分析）

Siピラー構造によるイオン化



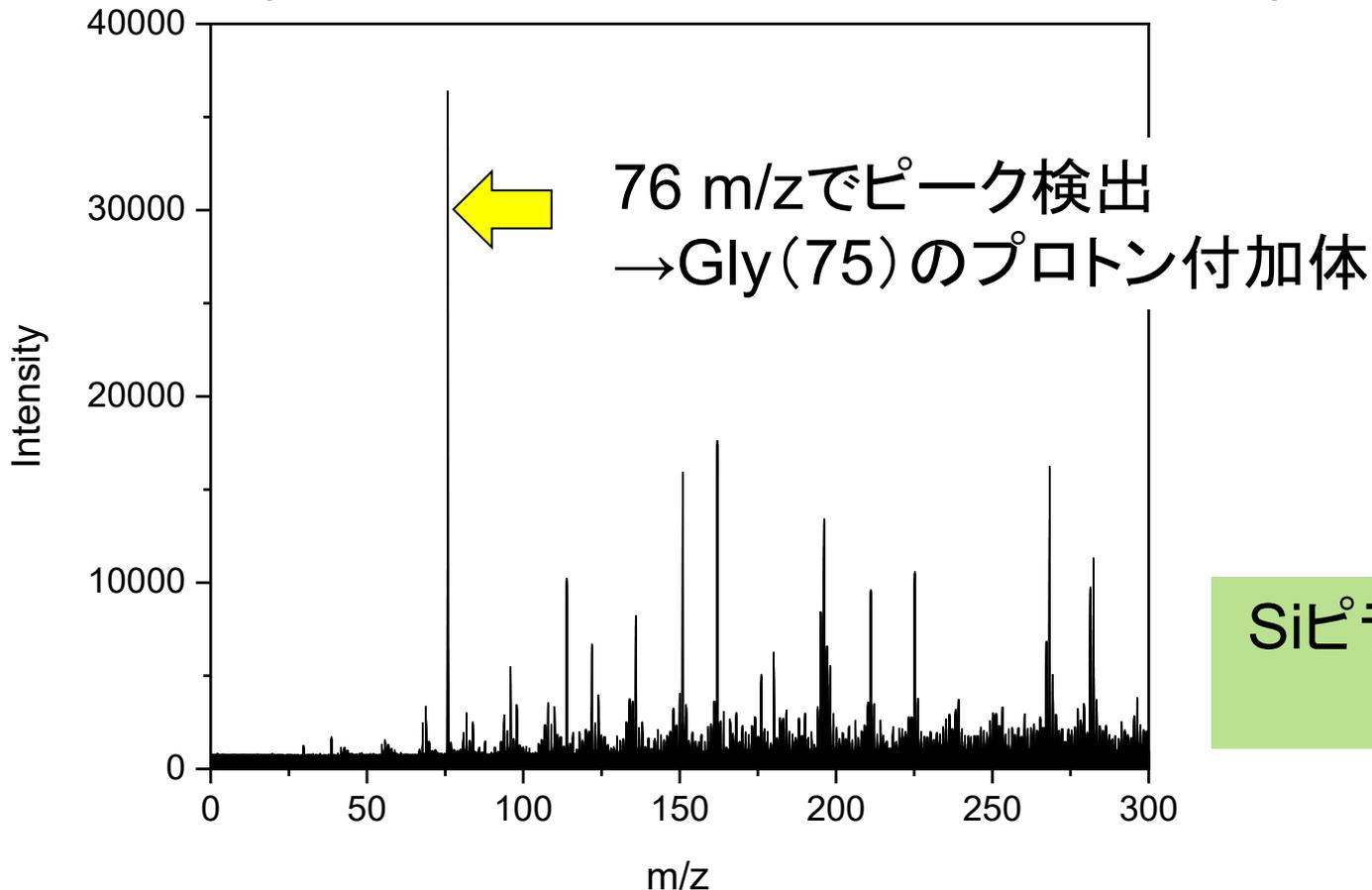
デフォーカスによる描画



シリコンチップへの微細加工応用例（質量分析）

Siピラー構造によるグリシン分子のイオン化

($\Phi 200$ nm, 中心間距離400 nm, 照射レーザー強度70%)



Siピラー構造によって
イオン化

経緯



研究者 A

引張試験での材料の変形をサブミクロンオーダーで観察して、変形状態を解明したい！



研究者はこれまで、材料の変形状態を知るために、引張試験片にケガキ線や傷を入れて変形過程を追ってきた



さらに、結晶粒よりも小さいエリアでの変形を知るため、FIBで目印をつけて変形を調査



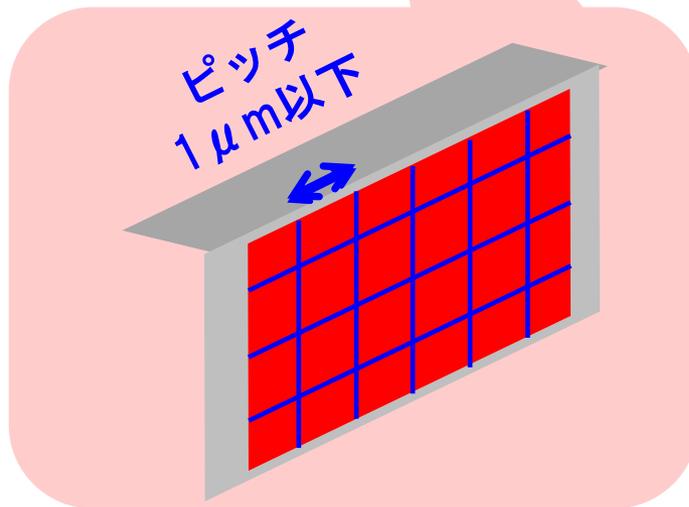
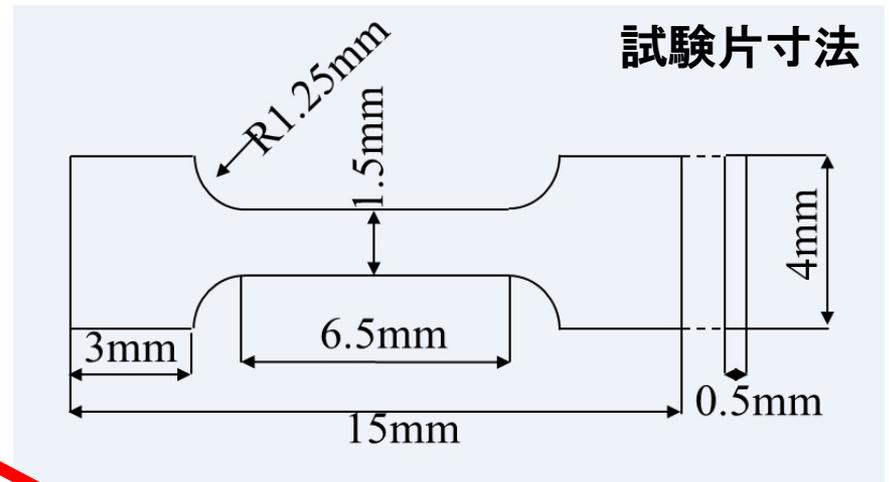
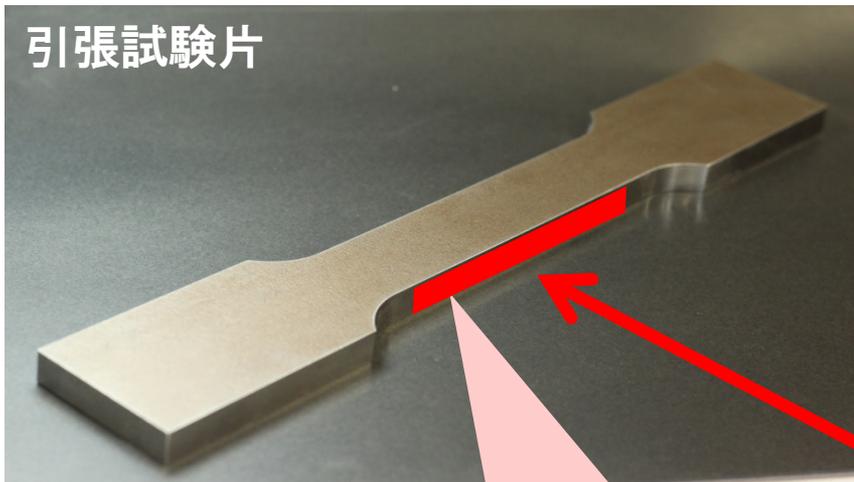
FIBでは

- ・付けられる目印は最小でピッチ数 μm
- ・狭いエリアにしか目印をつけられない



EBリソグラフィーで目印を作製してみよう
高精細かつ大面積へ

引張試験片



この面に、ピッチ1 μm 以下の
格子状の目印を付ける
(厚みは0.5mm !!)

引張試験後に格子模様の変位を測定する
ことで材料の変形を解析

いくつかの課題への対応

課題1. 薄い試験片側面へのレジスト塗布・描画

課題2. サンプルのレジストはじき

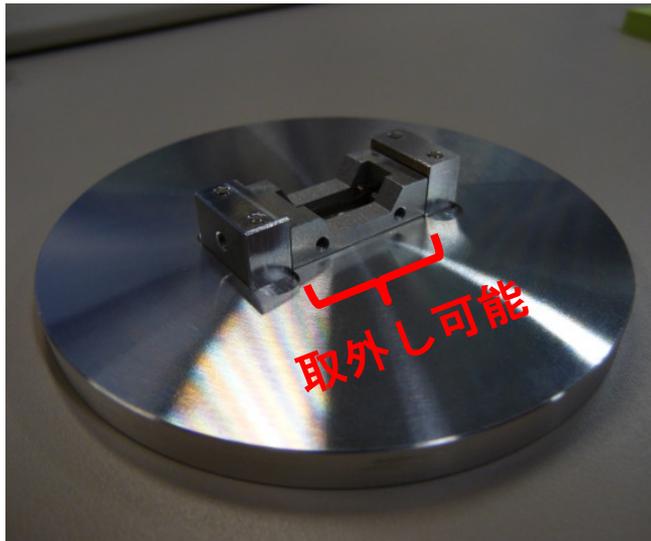
課題3. 磁性材料に対するEB描画

課題4. アニールで溶融・拡散が生じない格子状目印

課題5. サンプルへのダメージを極力抑える

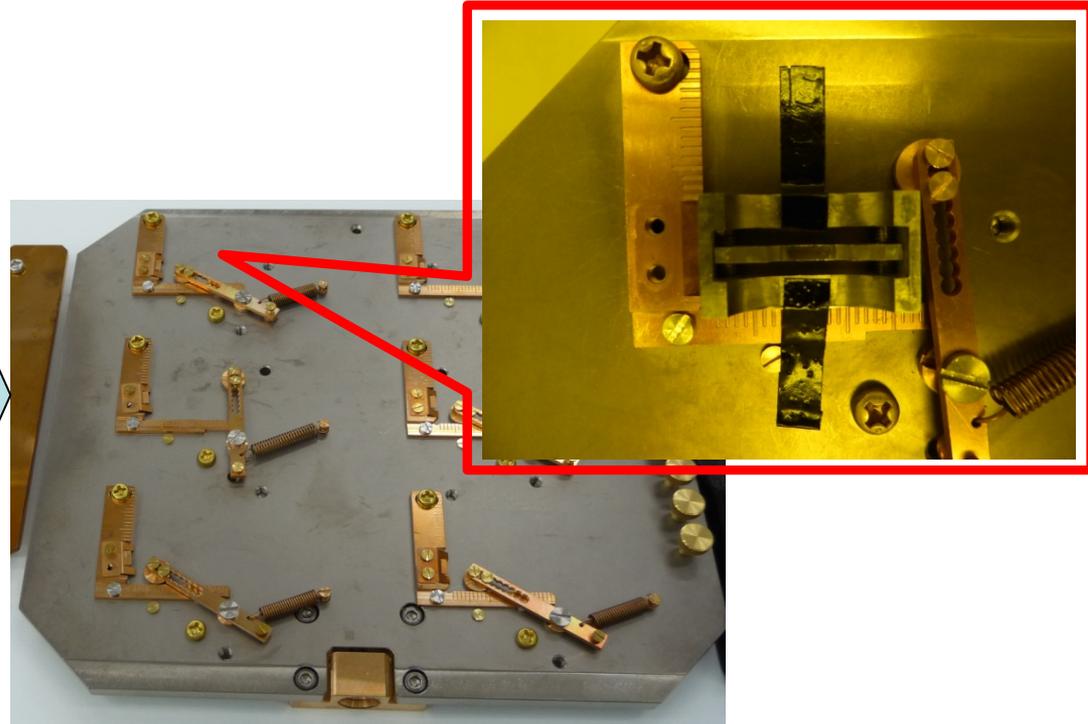
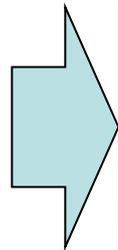
課題1. 薄い試験片側面へのレジスト塗布・描画

試験片側面を上向きに固定できるジグを設計し、
北大電子研の機械工作室へ加工を依頼



スピコート用ジグ

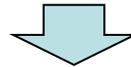
複数枚の試験片を重ねて
塗布面積をかせぐ



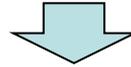
EB描画装置用サンプルカセット

課題2. サンプルのレジスト弾き

引張試験片がレジストをはじく



サンプルに薄膜をコーティング



材料Aは、後工程のアニール時に
試験片材料へ拡散するような薄膜はダメ！

酸素プラズマ等で除去できる膜

HMDS ×

オルガノシラン ×

カーボン ○

材料Bは、後工程にアニールなし

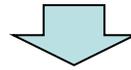
・酸化を抑えるために 接着層
成膜後すぐにレジスト塗布をしたい

・クリーンルーム内で手軽に
接着層を成膜したい

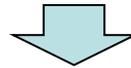
Cr ○

課題3. 磁性材料に対するEB描画(材料A)

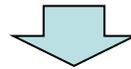
材料Aは磁性材料だが、まずは通常どおりに描画してみた



やはり、パターンが全く描けていない！

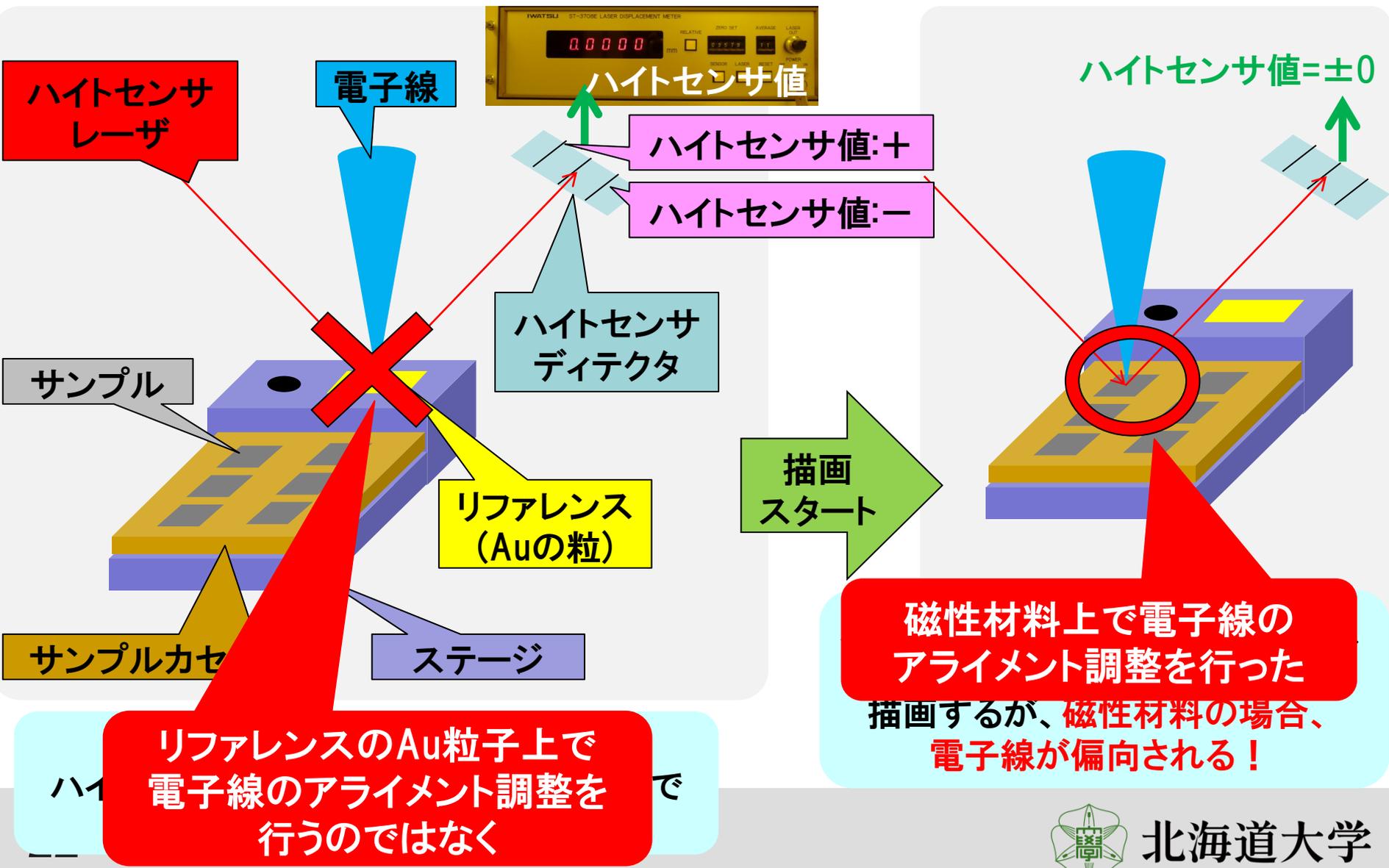


電子線が磁性材料の磁化からローレンツ力を受けて偏向されるらしい



電子線が偏向された状態でアライメント調整を行えば…

エリオニクス製EB描画装置の特徴

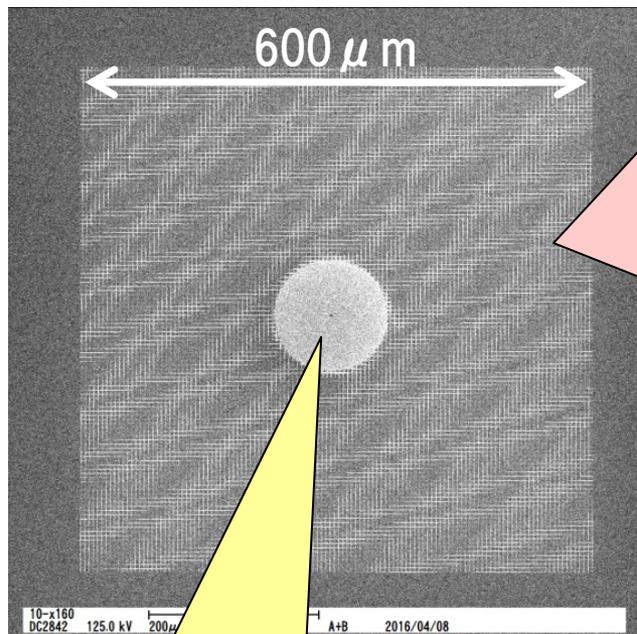


磁性材料上でのアライメント調整方法

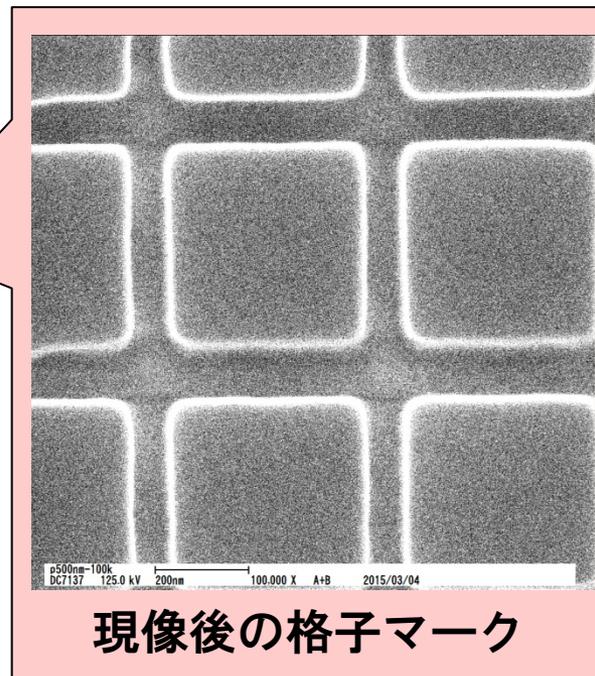
磁性材料の表面に
電子線をスポットで
照射してレジストに
照射痕を付ける



照射痕の二次電子像を
見ながらアライメント調整



アライメント調整時に
画像観察したため、
中央φ150 μmぐらい
感光してしまう

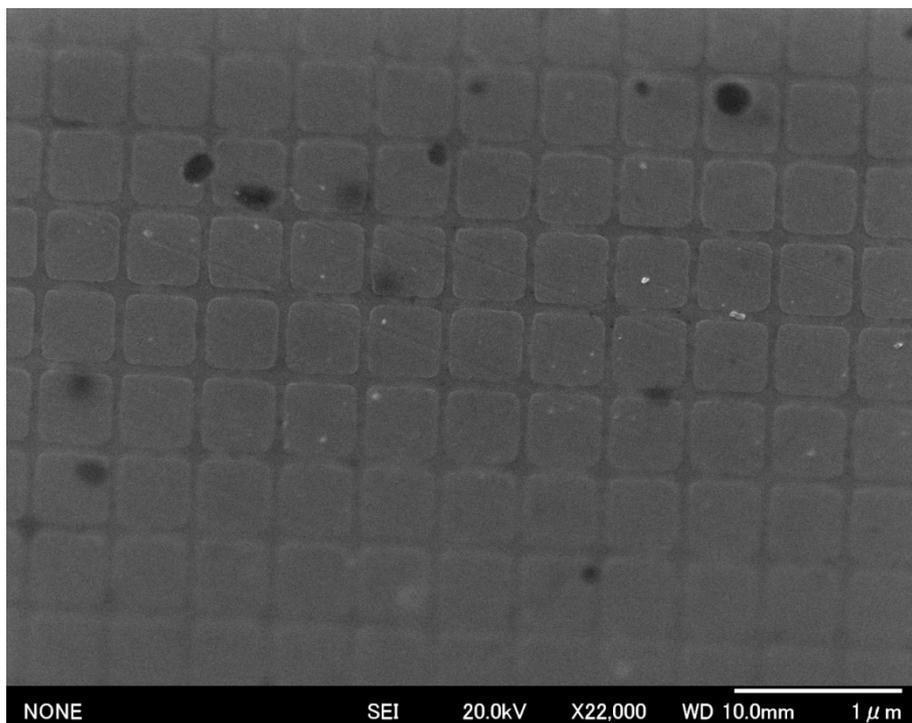


現像後の格子マーク
線幅80nm, ピッチ500nm

どの磁性材料にも、この手法が適用できるかどうかは試していないが、
ユーザー持参の材料では毎回上手くパターンニングできている

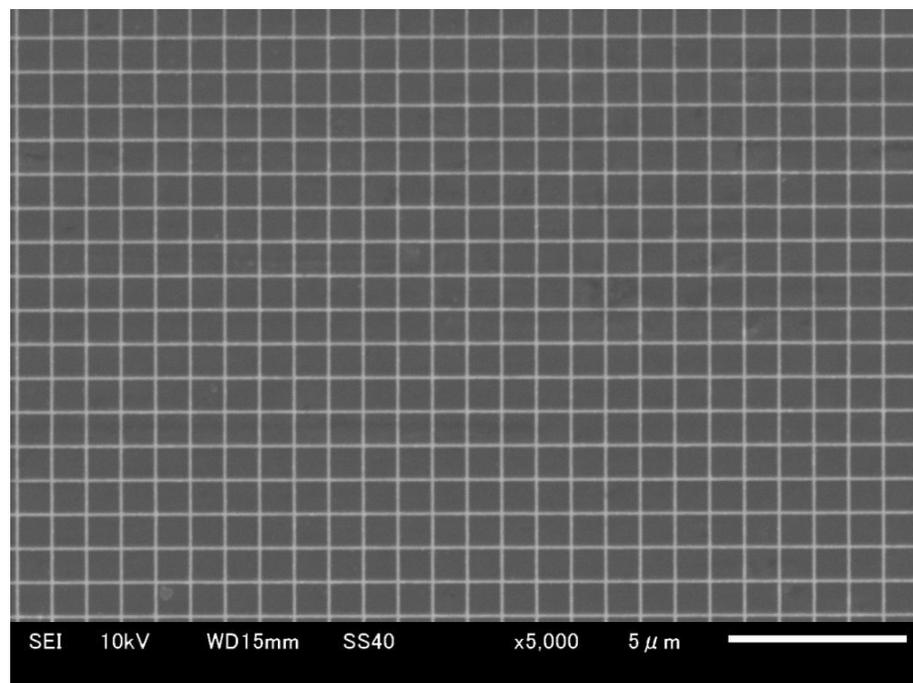
目的とする格子作製

課題4. アニールで溶融・拡散が生じない格子状目印(材料A)



Arミリングで目印を作製

課題5. サンプルへのダメージを極力抑える(材料B)

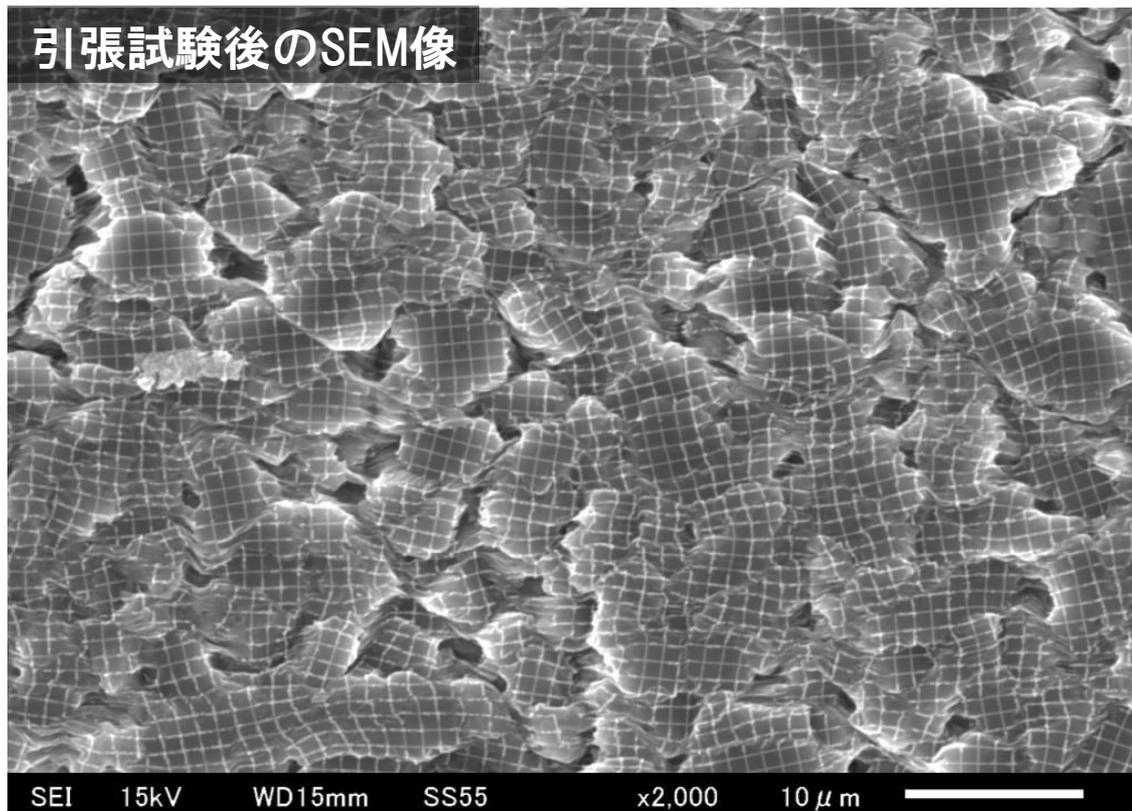


Crのスパッタ&リフトオフで目印を作製

引張試験片後の材料観察

5つの課題をクリアしたことで

引張試験後のSEM像



引張方向

引張方向

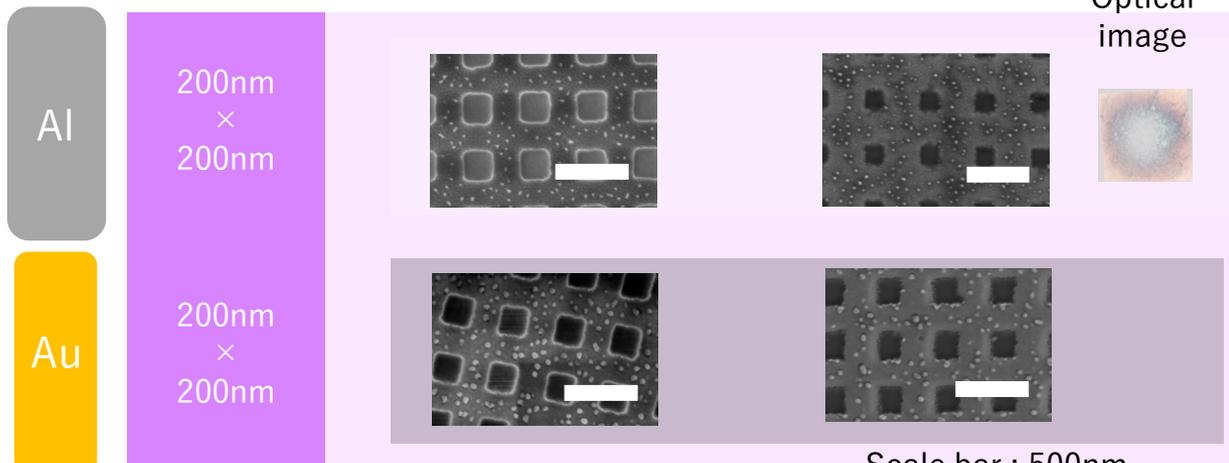
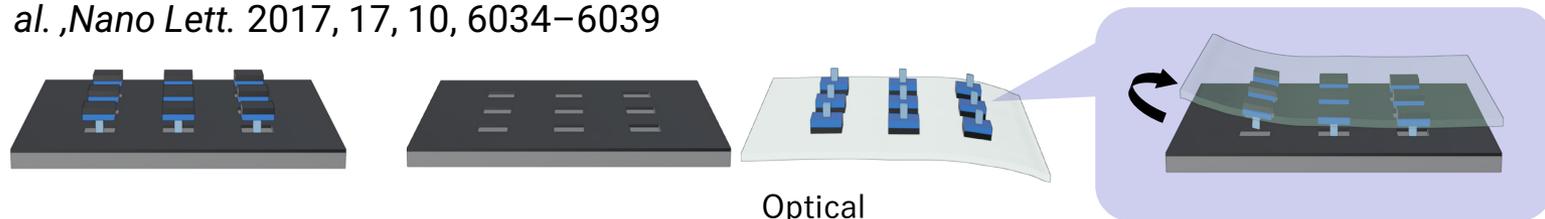
- ・格子状目印の変位より、結晶粒より小さいスケールで材料が変形する様子を確認できた
- ・変形で結晶粒が回転することも確認できた

金属ナノ構造のフレキシブル材料への転写

転写プロセス



Naomi J. Halas et. al., *Nano Lett.* 2017, 17, 10, 6034–6039



フレキシブル基板への
ナノ構造形成

メタ表面(Meta-surface)による光制御応用へ



GenISys

Advancing the Standard

シミュレーションによるリソグラフィ効率化

BEAMER: 近接効果などの電子線あるいはレーザー描画での露光量調整

高精度なナノ構造作製へ

TRACER: モンテカルロシミュレーションを用いた電子線散乱把握

機材の違いによる影響を予測

LAB: 溶解度曲線から、現像プロセスをシミュレーション

3D構造作製にも威力を発揮

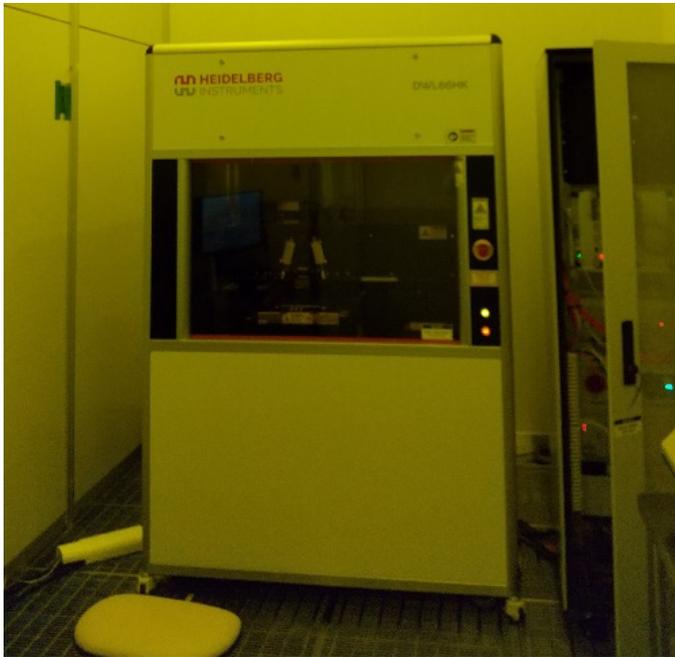
経験則をより明確に！

リモート操作による利用も可能です。

EBとレーザー描画の両方に対応

本学の支援装置(レーザー描画装置)

フォトリソグラフ支援装置 (ハイデルベルグ製) DWL66+



レーザー波長405 nm

ライトモード:

- ・ハイレゾ(最小線幅 0.3 μ m)
- ・WMII(最小線幅 0.8 μ m)
- ・WMIV(最小線幅 2.0 μ m)

255階調グレースケール露光可能

EB描画装置と同じクリーンルーム内に設置されている。
ナノ構造はEB、電極パッド部はレーザーという使い分けも可能。

プラズマ原子層堆積装置



サムコ AD-230LP

- ・8インチウエハ対応(ロードロック式)
- ・プラズマALD
- ・ H_2 、 NH_3 ガス導入
- ・酸化剤は H_2O 、 O_3 利用可能
- ・キャリアガスは N_2 、Arの切り替え可能

今まで以上に多様な材料へ対応

EB描画装置と組み合わせたダブルパターニングなども

電子ビーム描画・レーザー描画プロセスを含めた加工・解析支援

ご希望のデバイス作製などを考慮の上、お気軽にご相談ください。



北海道大学 ナノテクノロジー連携研究推進室
E-mail: material-dx@cris.hokudai.ac.jp
Phone: 011-706-9340
<http://arim.cris.hokudai.ac.jp/>

『北海道大学実習コース』

【日時】 2024年3月末～4月中

【場所】 北海道大学創成研究機構

【定員】 2名(北海道・東北の方を優先します)

【料金】 無料

【実習に使う露光装置】エリオニクス ELS-F130

【申込メールアドレス】 material-dx@cris.hokudai.ac.jp