

大面積偏向を有する超高速電子ビーム加工装置 (UHSEB) の応用展開に向けた試作研究

尹成圓(ユン ソンワン)

デバイス技術研究部門 集積化MEMS研究グループ
国立研究開発法人 産業技術総合研究所
〒305-8564 茨城県つくば市並木1-2-1 産総研つくば東
電話: 029-861-7140 (内線:222-47140)

目次

1. 序論

- ① 研究の背景
- ② 超高速電子ビーム加工装置の概要

2. 研究事例の紹介

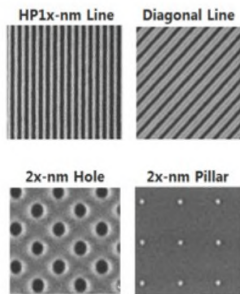
- ① 高速描画
- ② Mix-and-Matchプロセス
- ③ 3D描画
DOE、ナノインプリントモールド

ナノインプリント技術の動向

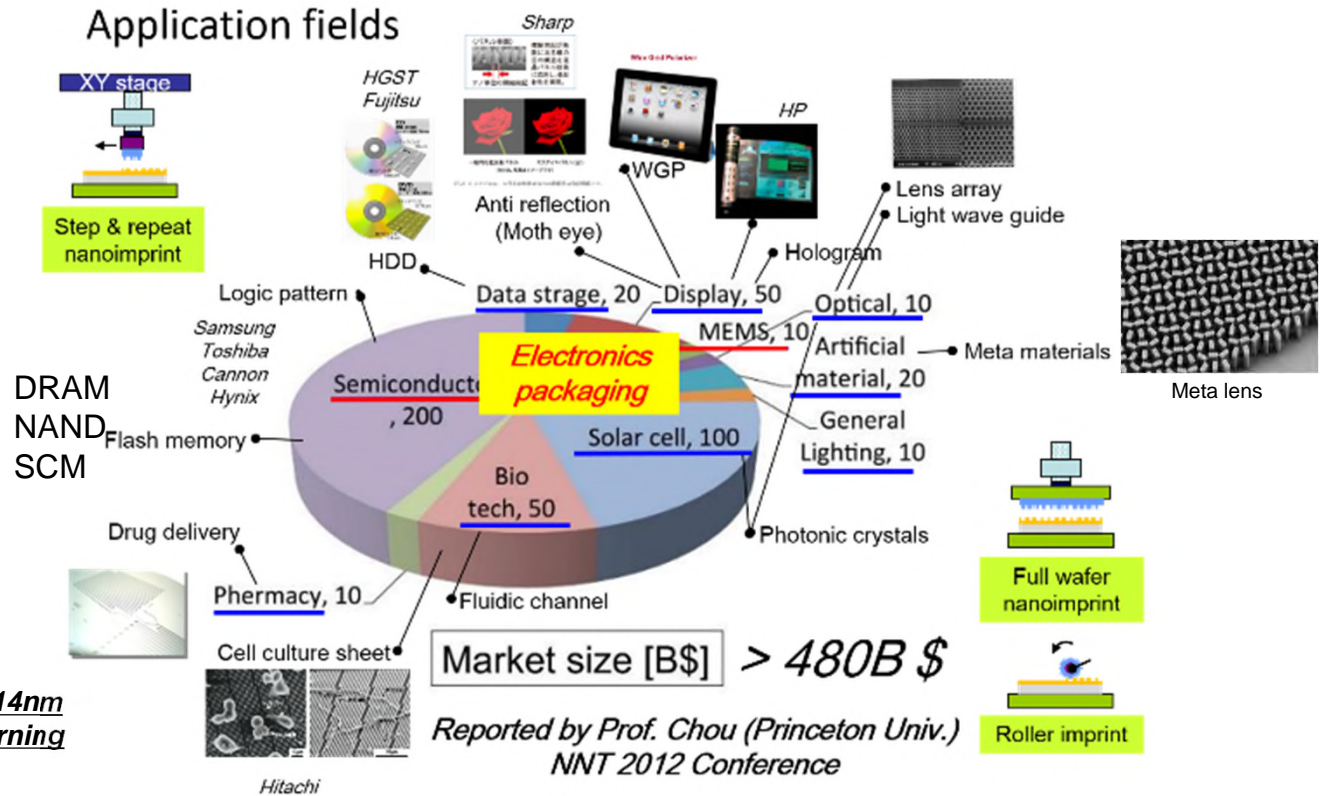
• Key advantage
 Capability to make **2D/3D nanostructures** with a low cost

The advanced semiconductor industry is the largest market

- Kioxia/Canon/DNP
- UV-NIL based volume production line of NAND flash memory is on-progress



[Process technology/14nm Half-pitch Direct Patterning / KIOXIA



実用化において壁

- ・ ウェハレベルナノインプリントが急速に進展、しかし普及がなかなか進まない。
- ・ 最先端半導体設備が活用できる企業は限られている。 ← モールド問題

High-variety middle volume production



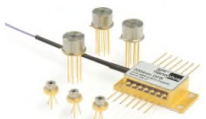
Polarizer for display

<http://www.eizo.co.jp/>



HD interconnection substrate for mobile terminal equipment

<http://www.apple.com/jp/>



Distributed feedback (DFB) laser

<http://nanoplus.com/>

ASIC

Wiring for interposer

Large area molds made by EBL are very expensive

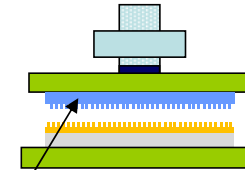


Cost-down by large-area NIL

Nanoimprint lithography (NIL)



SCIVAX, Sibaura(Toshiba) machine, Obducat, EVG, SUSS



mold size : 4 ~ 8 inch

Large-area wafer-level Nanoimprint system

- Mold is the most critical element (middle-volume production) -usually made by electron beam lithography

- Wafer-level custom-made master mold is unrealistic - **1 million dollar for 3 cm square-sized mold !!**

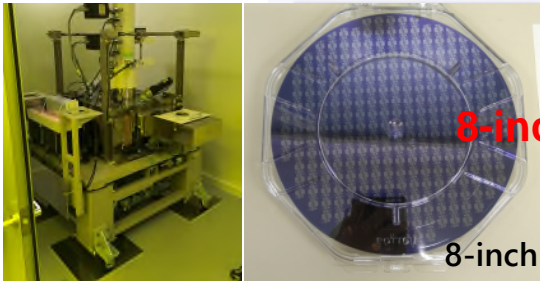
関連プロジェクト

「ウェハーサイズ3次元ナノインプリントモールド用超高速電子ビーム加工装置の研究開発」

High-precision and high-throughput wafer-level NIL and mold fabrication

1. Low-cost wafer-level NIL mold

- ① Ultra-high-speed electron (UHSEB) system world-top-level throughput and an excellent cost performance (point beam)

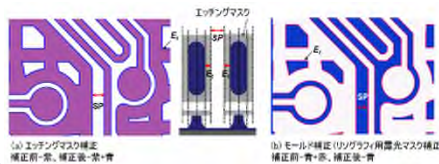


8-inch wiring/day
>50nm L&S

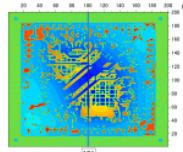
8-inch

< UHSEB prototype >

- ② Design and fabrication of mold for lithography

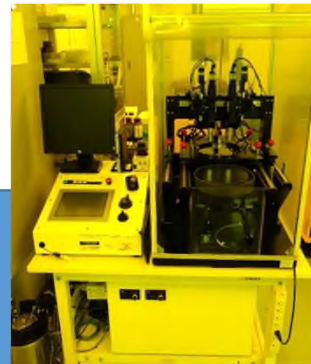


RLT
Dimensional change



2. Large-area bubble-free NIL

- ① Rapid bubble-free UV-NIL



バブル欠陥(未充填)

100μm

凝縮性ガス雰囲気下

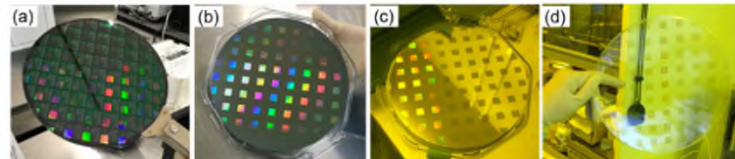
No bubble
Low demolding force

完全充填

100μm

< Mold/ substrate laminating system for UV-NIL in PFP >

- ② Master and replica mold fabrication



Low-cost wafer-level fabrication of defect-free submicron (>50nm) pattern

Target: to develop a novel wafer-level lithography with a higher resolution than i-line stepper and laser writing₅

超高速電子ビーム描画装置 (UHSEB)

- Low-cost mold is key to industrialization
- For low-cost wafer-level NIL mold

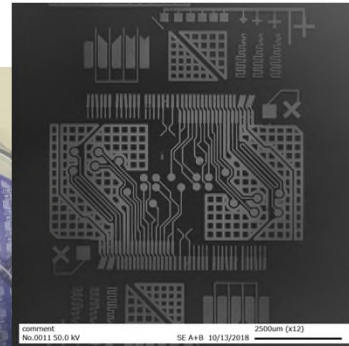
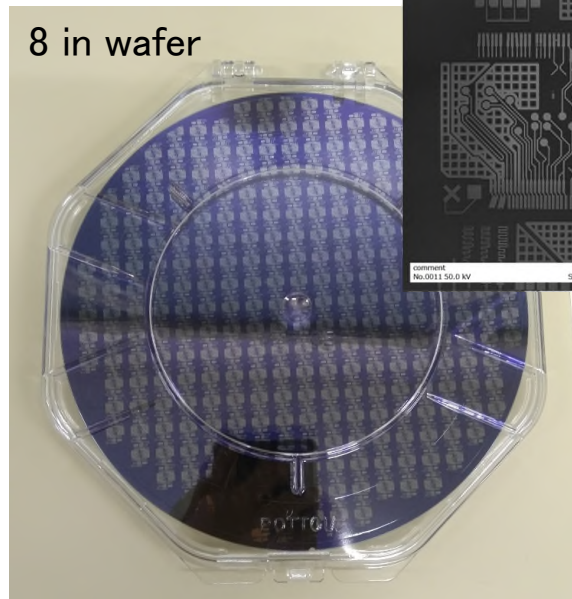
<The design concepts and capabilities>

技術的課題	解決手段
描画時間の短縮	大電流電子線光学系(実効電流100倍) - Max. 1uA
ステージ移動時間の短縮	大面積偏向器(面積100倍) - 10 mm 角フィールド
スキャンオーバーヘッド時間の短縮	超高速描画対応偏向システム(クロック周波数4倍)
ファイル転送時間の短縮	高速転送対応ソフトウェア(転送速度300倍)
パターン密度変化への対応	容積均一化モールド技術
容積均一化モールド設計	複雑パターン対応のソフトウェア

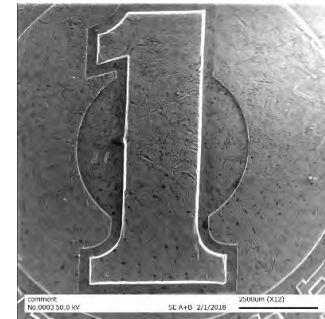
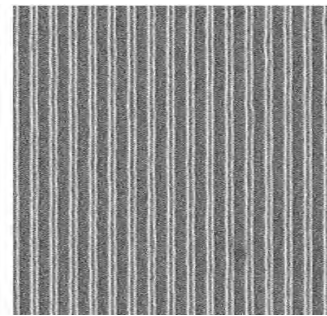
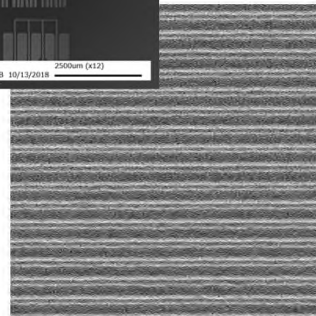


<Prototype installed at AIST Tsukuba-east>

UHSEB性能



Writing time: 14hr 20min
(conventional high-speed EB system: 55 days、1/100)



80 nm L&S
 ・ Target resolution: 100nm <

10 mm field

Field size: 10 mm、min. width: 300 nm – dozens of micrometer-scale patterns

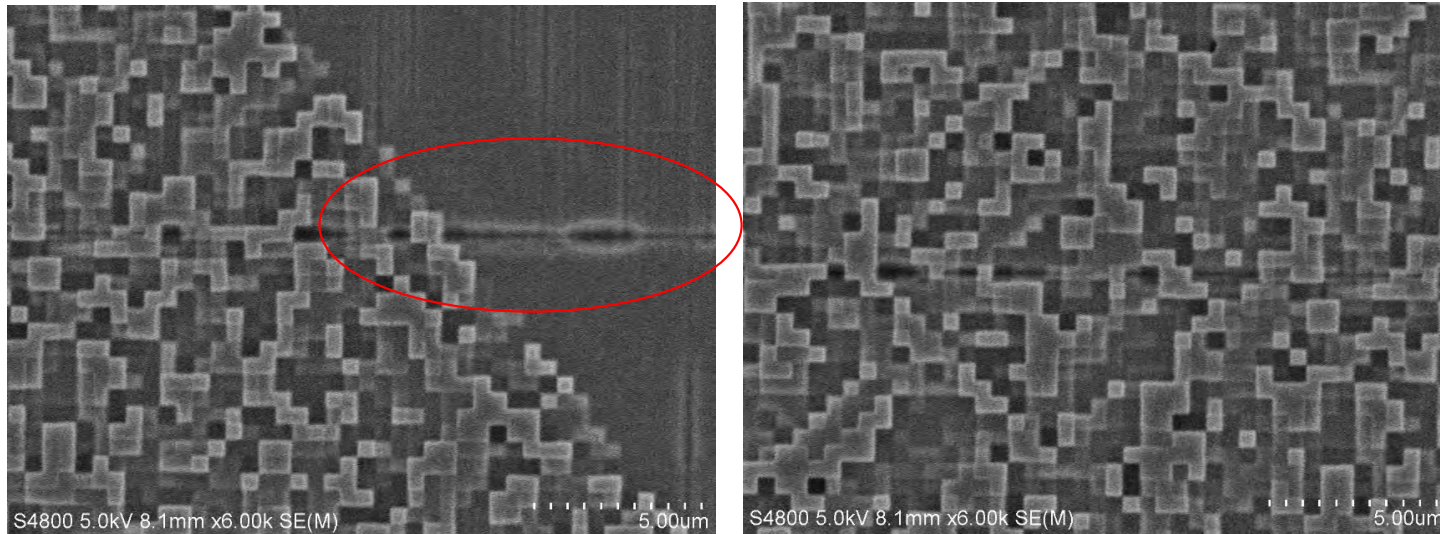
Micropattern: beam current = 200 nA, area dose = 120 uC/cm², beam step = 50 nm

Nanopattern: beam current = 10nA, area dose = 150uC/cm², beam step = 10nm

特徴
 ① 大面積フィールド、② 大電流 (-1uA)、③ 100nmレベルのパターン加工精度

大面積偏向のメリット

- ❑ 偏向器：光束を偏向して被走査面を主走査方向に光走査する機器
- ❑ フィールド内ならばずれ無し：通常の装置1mm角以下
- ❑ フィールドサイズが大きい。
 - ・ スループット
 - ・ つなぎ目



130 k V機での描画例

目次

1. 序論

- ① 研究の背景
- ② 超高速電子ビーム加工装置の概要

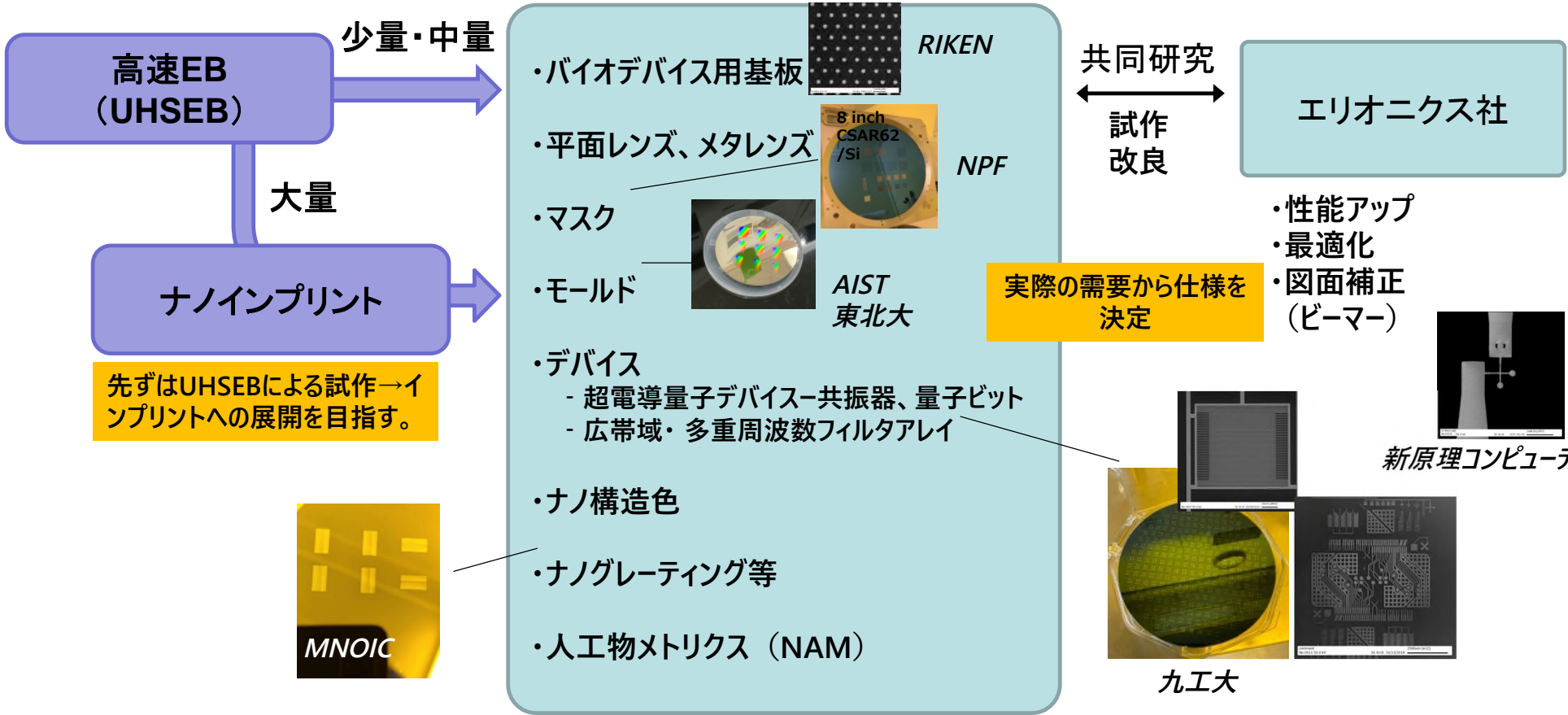
2. 研究事例の紹介

- ① 高速描画
- ② Mix-and-Matchプロセス
- ③ 3D描画
DOE、ナノインプリントモールド

展開先の探索と試作

・i線ステッパー、レーザー描画の応用分野

AIST試作ベース共同研究



レジスト

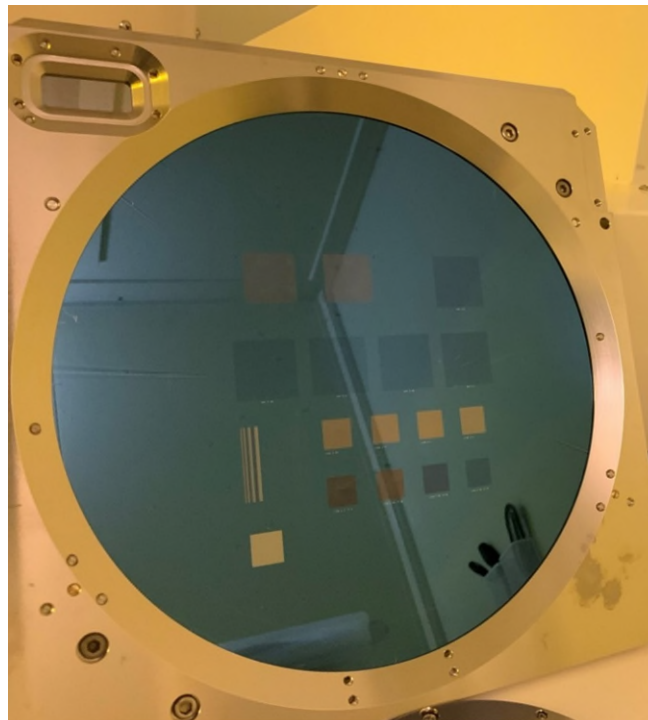
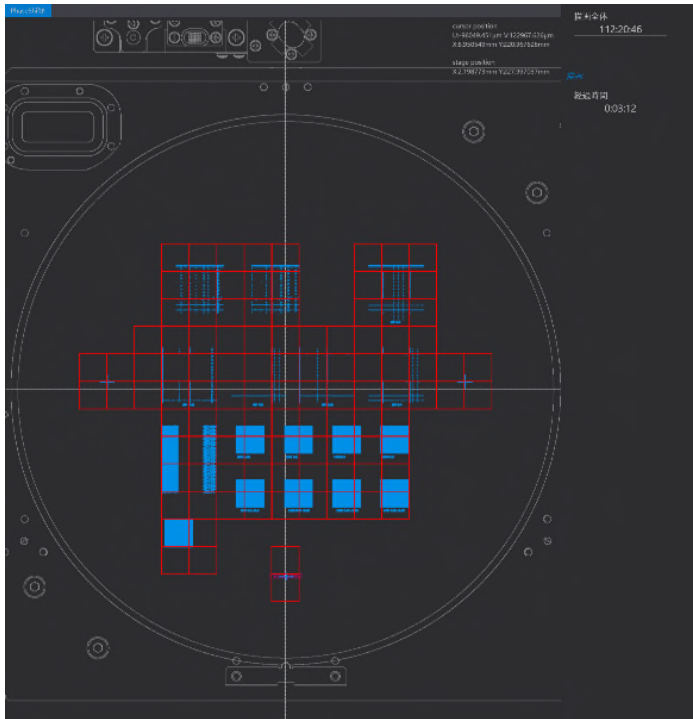
□ ポジ型レジスト

レジスト名	特徴	現像液
ZEP520A	日本ゼオン, Styrene Methyl Acrylate (SMA)、一般的	O-キシレン ZED-N50 (n-Amyl acetate)
CSAR62 (AR-P6200)	ALLRESIST製、コストパフォーマンス 分解能,速度,エッチ耐性においてZEP520Aと類似の性能	O-キシレン
GL1400 14wt%-20wt%	グルーオンラボ社、厚膜 (- 4.5um)、3D描画 メトキシベンゼン:75-98% メタクリル酸メチル重合体(MMA):2-25%	ZED 50 MIBK:IPA=1:2
MMA(8.5)MAA Co-polymer Copolymer 8.5EL6	日本化薬(マイクロケム) 乳酸エチル 90-95%、 メチルメタクリレート(MMA)・メタクリル酸共重合体 5-10%	MIBK:IPA=1:1 (Methyl Isobutyl Ketone) 水に溶解できない

□ ネガ型レジスト

レジスト名	特徴	現像液
mr-N 2401-2410	EV, DUV, Microresist technology, aqueous alkaline development	TMAH 2.38% (毒物)
NEB-22(東には無し)	住友化学、化学増幅型	

高速描画の適用検討：大面積モールド、マスク



- 5 nAで 4.6日
- 50 nAで 16時間
- 100 nAで 8時間
- 1 μ A

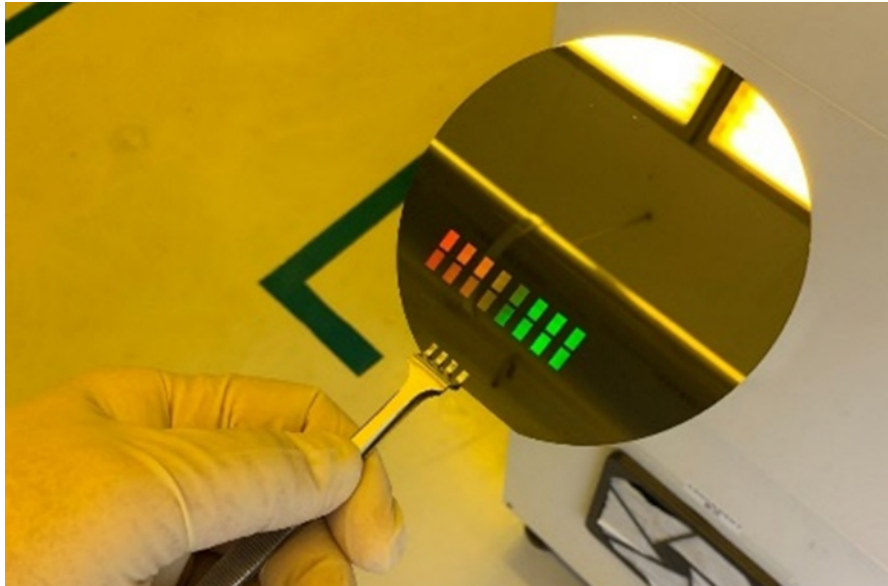
8 inch CSAR62/Si

描画時間：約8時間

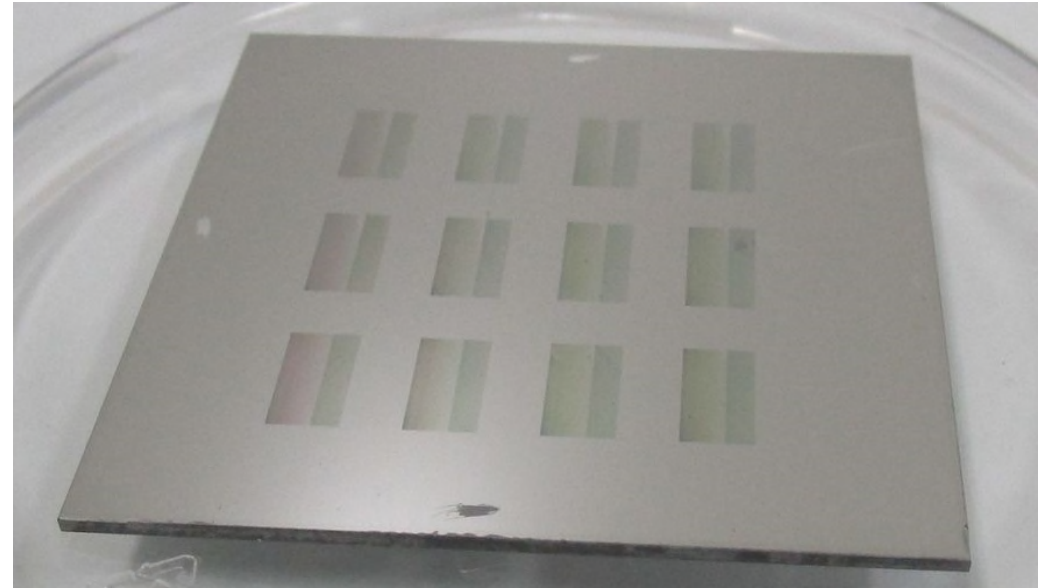
- 位相シフトマスク：描画時間、フィールド間ずれ

高速描画の適用検討：ナノパターン

ナノグレーティング作製例



ZEP520A/Cr/glass



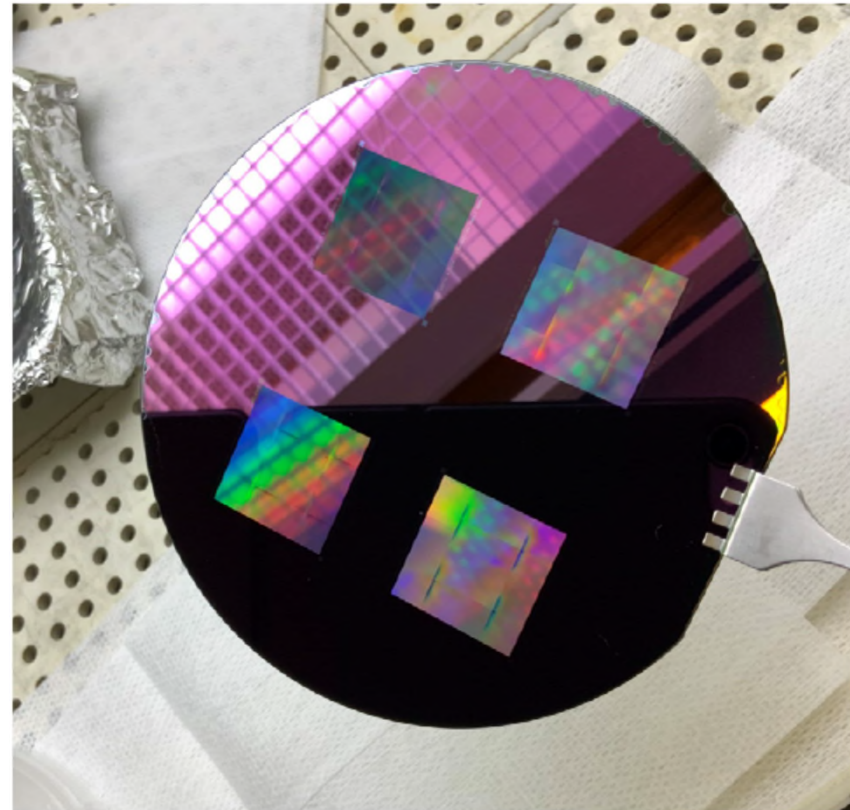
ZEP520A/Cr/特殊ガラス (50mmx50mmx1mm)

- ナノパターンのみの加工においても高速

ナノグレーティング

cm²級サブミクロン回折格子

周期0.92mm、穴径0.7mm、穴深さ0.28mm



パターンニングされた円形周期構造
(ZEP520A/Si)

描画時間： 従来機では約24時間/cm² ⇒ 0.5時間/cm²
描画エリア内で均一な安定した描画が達成。

ナノ構造色パターン（プラズモニックカラー）

① プラズモニックカラー設計技術

1 pixel = 5 or 10 μm

パターンサイズ (w)

高さ (h)

誘電体 : 樹脂

金属 : Ti, Al等

反射層

width(w) pitch (p)

ピッチ (p)

<カラーマップ> 1 pixel

高速加工に向けたカラーマップのパターン形状依存性評価（描画線幅 > 100nm、範囲↓）

② 超高速EB用構造色用パターン変換プログラムモジュール

元図

Pixel分割

1 pixel

width(w) pitch (p)

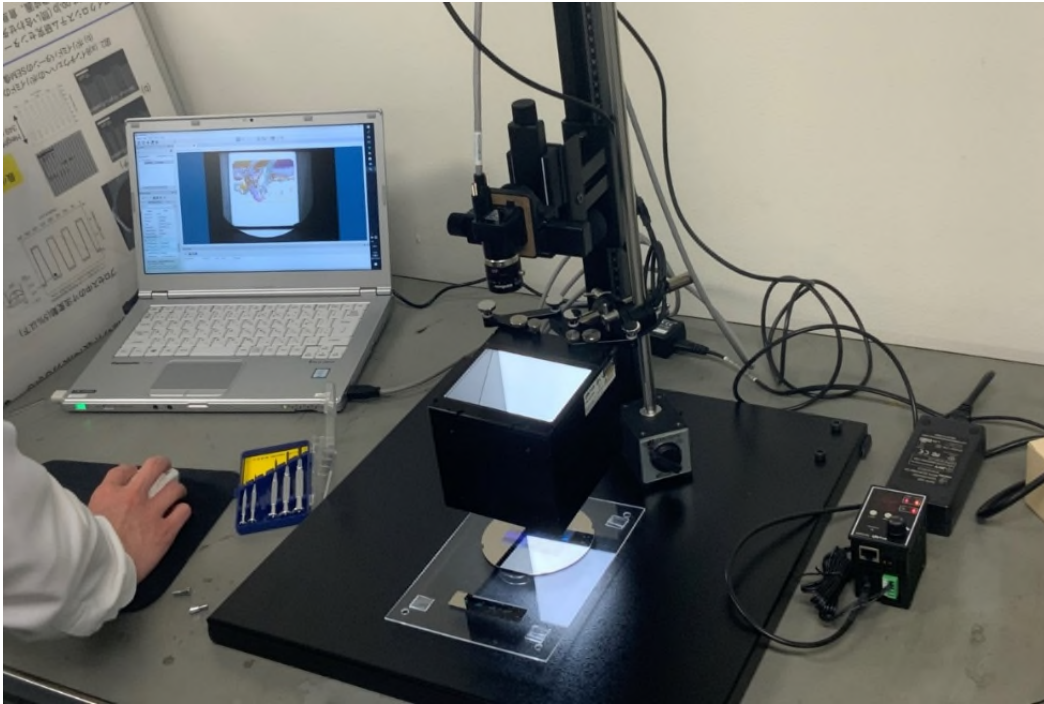
各Pixel内の色に合わせたパターンの形成

③ ナノインプリントを併用した量産化

UHSEB描画

Ni電鍍モールド

ナノ構造色パターン（プラズモニックカラー）



プラズモニックカラーサンプル

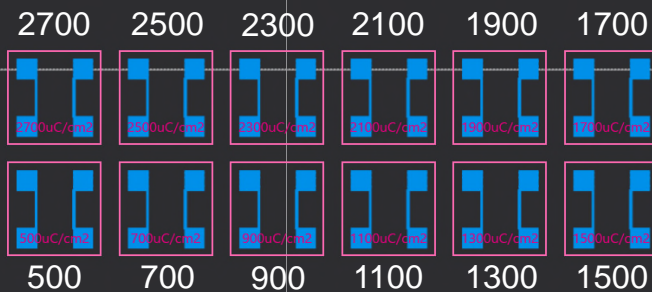
ネガ型EBレジストを用いたSAWのIDTsパターン試作

100nm近辺のパターンとマイクロパターンのMix and Matchが1台で可能

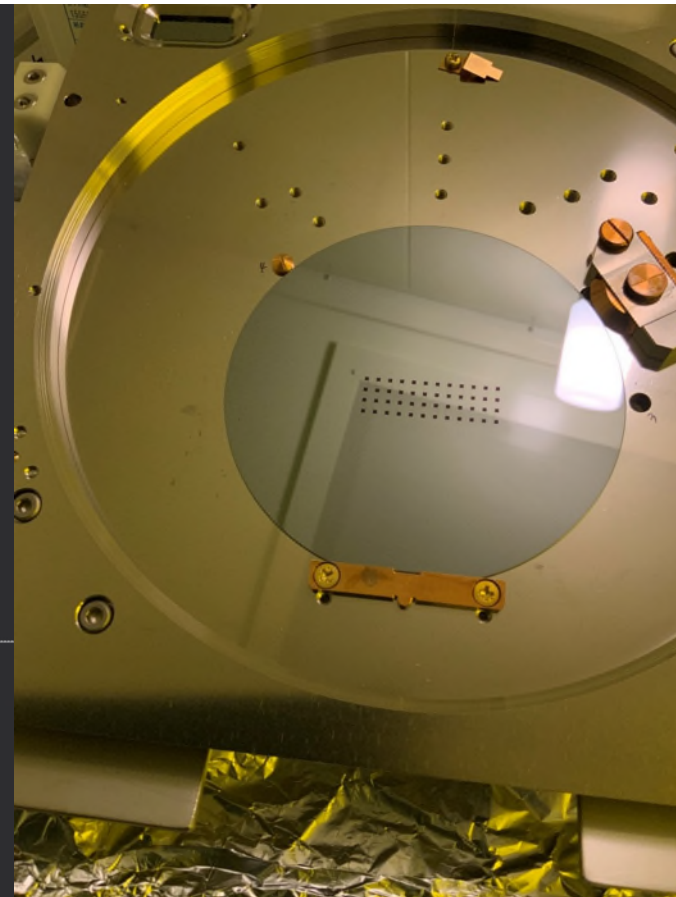
- 100nm厚 ma-N2401/Si
(micro resist technology)

- 150nm L&S IDTs
- 1mm角パット

- Field : 5mm角



設計 : 九工大
村上直先生

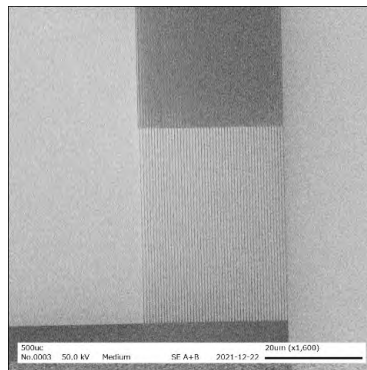
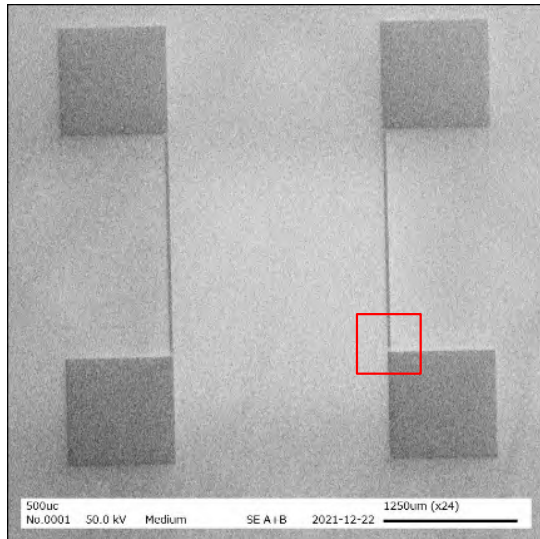


ネガ型EBレジストを用いたSAWのIDT s パターン試作

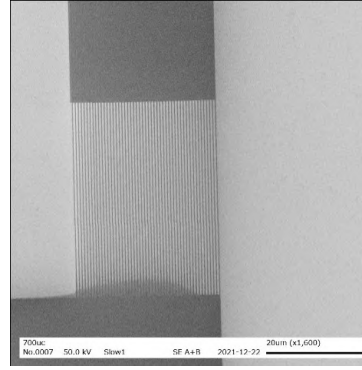
ドーズ条件出し

150 nm L&S 電極パターン

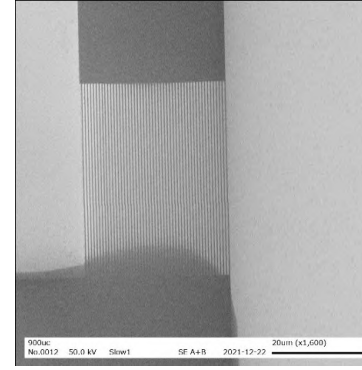
10nA



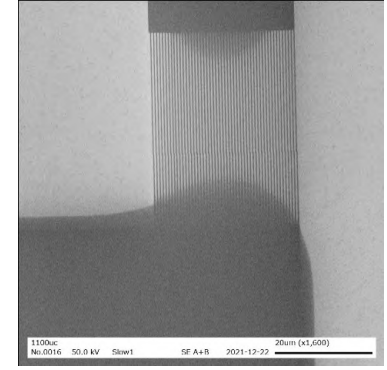
500uC/cm²



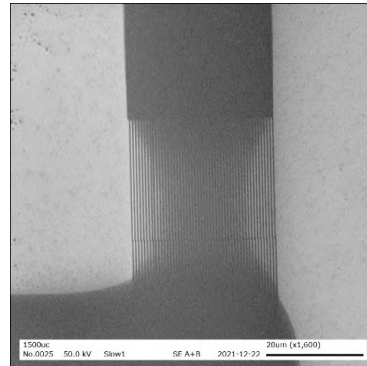
700uC/cm²



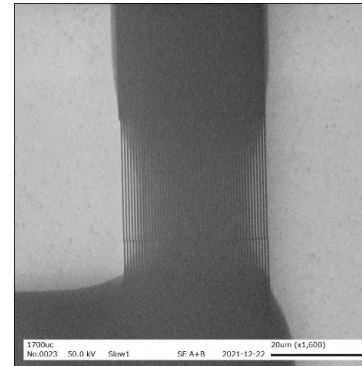
900uC/cm²



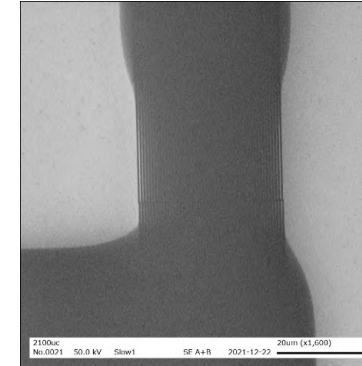
1100uC/cm²



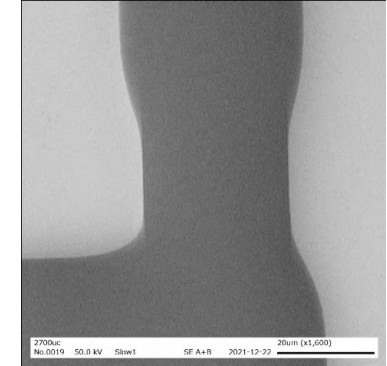
1500uC/cm²



1700uC/cm²



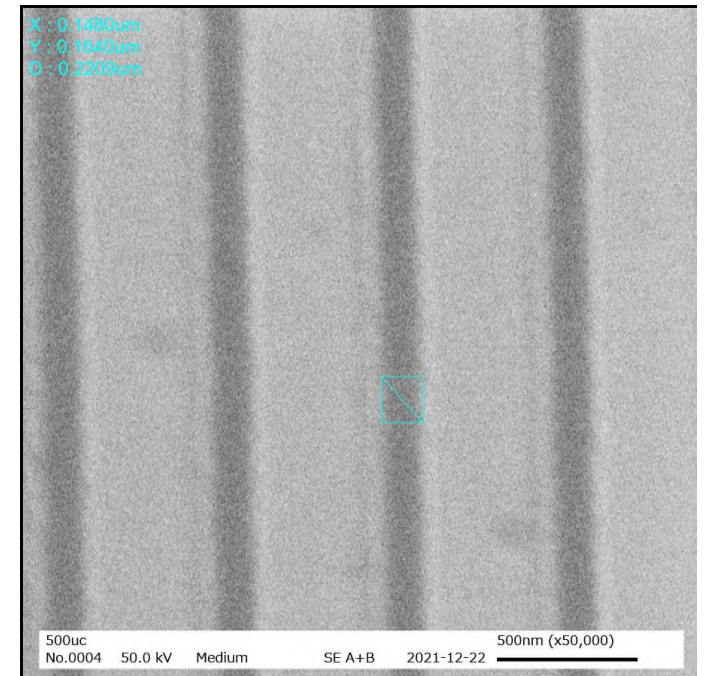
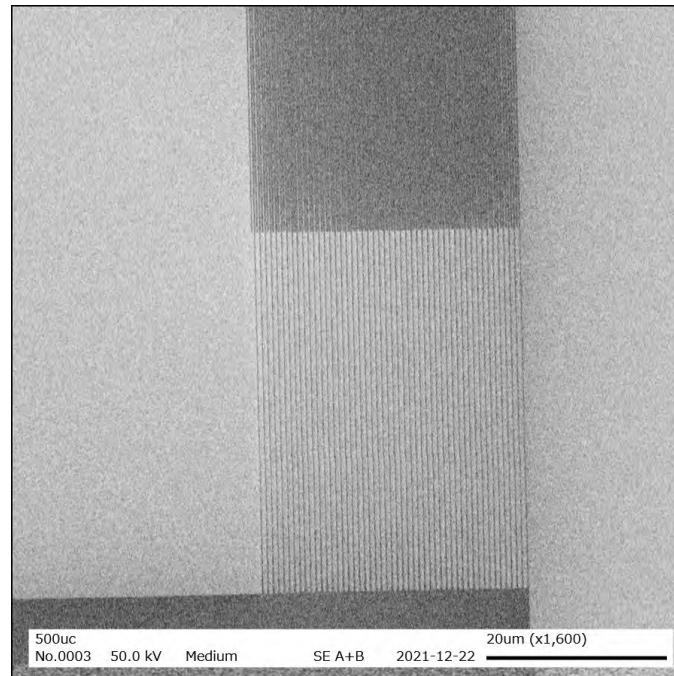
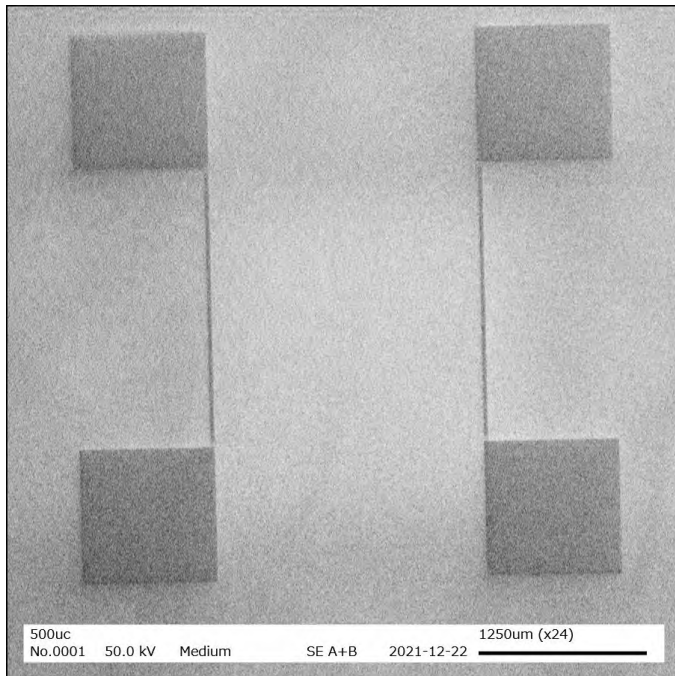
2100uC/cm²



2700uC/cm²

ネガ型EBレジストを用いたSAWのIDT s パターン試作

試作例



500uC/cm²

UHSEBと他EB装置を用いたMix and Matchプロセス (サブ50nm)

- 今後の運用案



[NPF093] ELS-F130AN

- 130kV、最小ビーム径 1.7nm (@ 130kV)
5pA~100nA、
- 現在、中央のNPFに設置

・サブ30ナノサイズの微細パターン加工



Ultra High Speed EB (UHSEB)

- 50kV, 1~1000nA, 400MhzDAC
- 現在、東事業所の2G棟に設置

・50ナノメートルレベル加工
・8インチウエハ全面に1日で描画

ミリメートルからサブ30ナノパターンの加工 (同じレジストでのMix and Matchが可能)

マルチスケール描画

■ 目的

特徴の異なるEBリソグラフィ装置 2 台を用いて, inch ~ nm オーダーのマルチスケールなパターンニングを行う。

■ EBL Conditions

Substrate: Si, 4 inch

Resist: ZEP520A, 60 nm

[1st Layer, Large pattern]

Tool: UHSEB

V_{acc} : 50 kV

Beam Current: 100 nA

Field size: 5,000 μm square

Dev.: o-Xylene, R.T., 60 s

[2nd Layer, Small pattern]

Tool: ELS-F150

V_{acc} : 150 kV

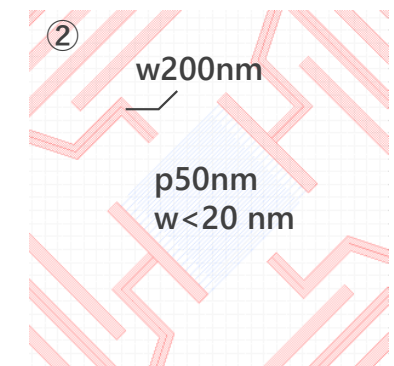
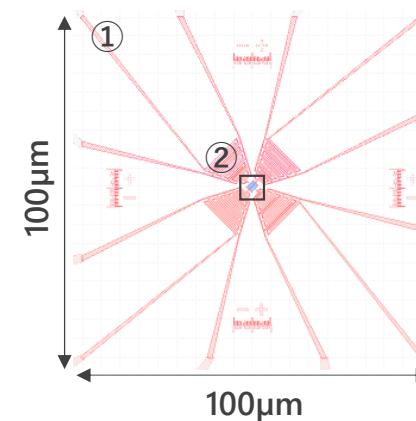
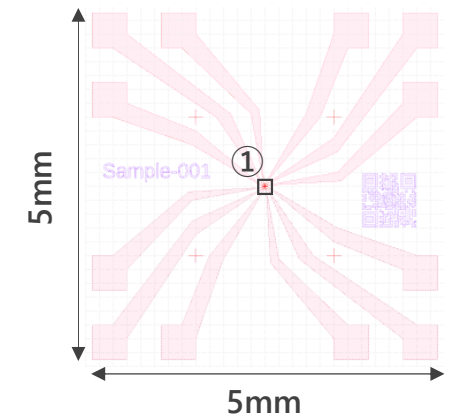
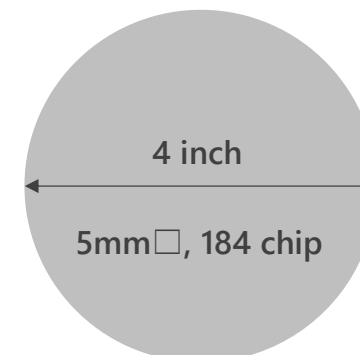
Beam Current: 1 nA

Field size: 100 μm square

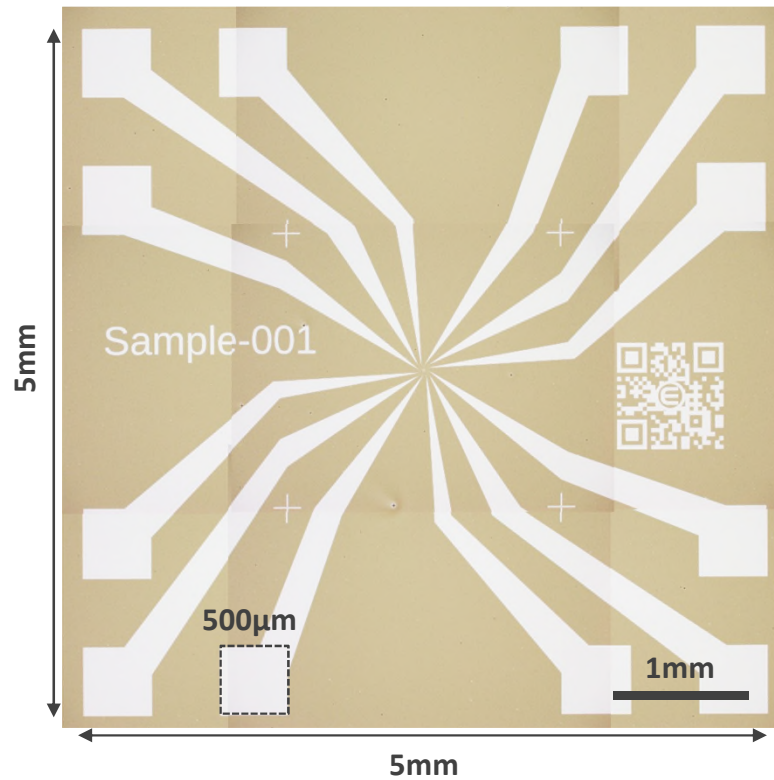
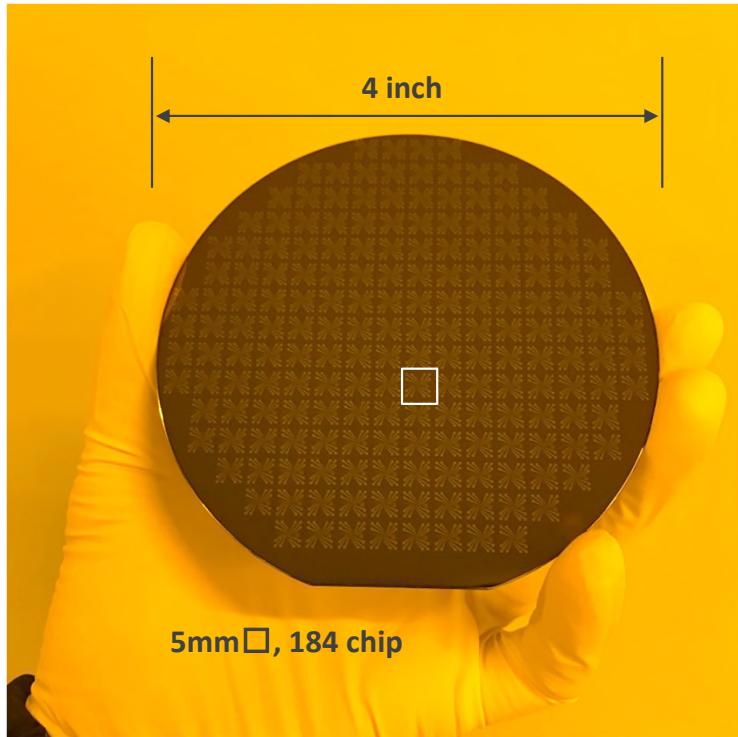
Dev.: ZED-N60, R.T., 60 s

Overlay

Layout & Pattern:



描画結果 - 大面積描画

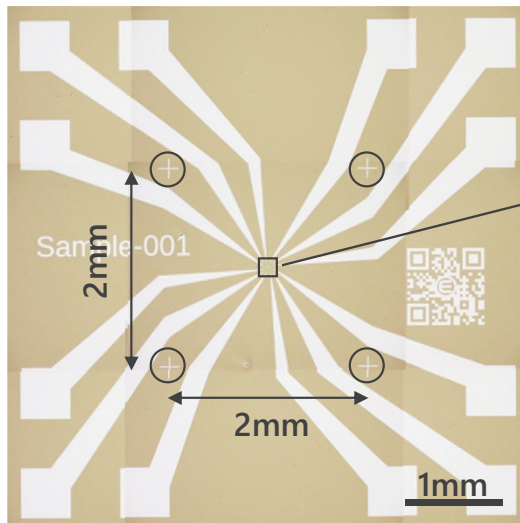


● Total Exposure Time

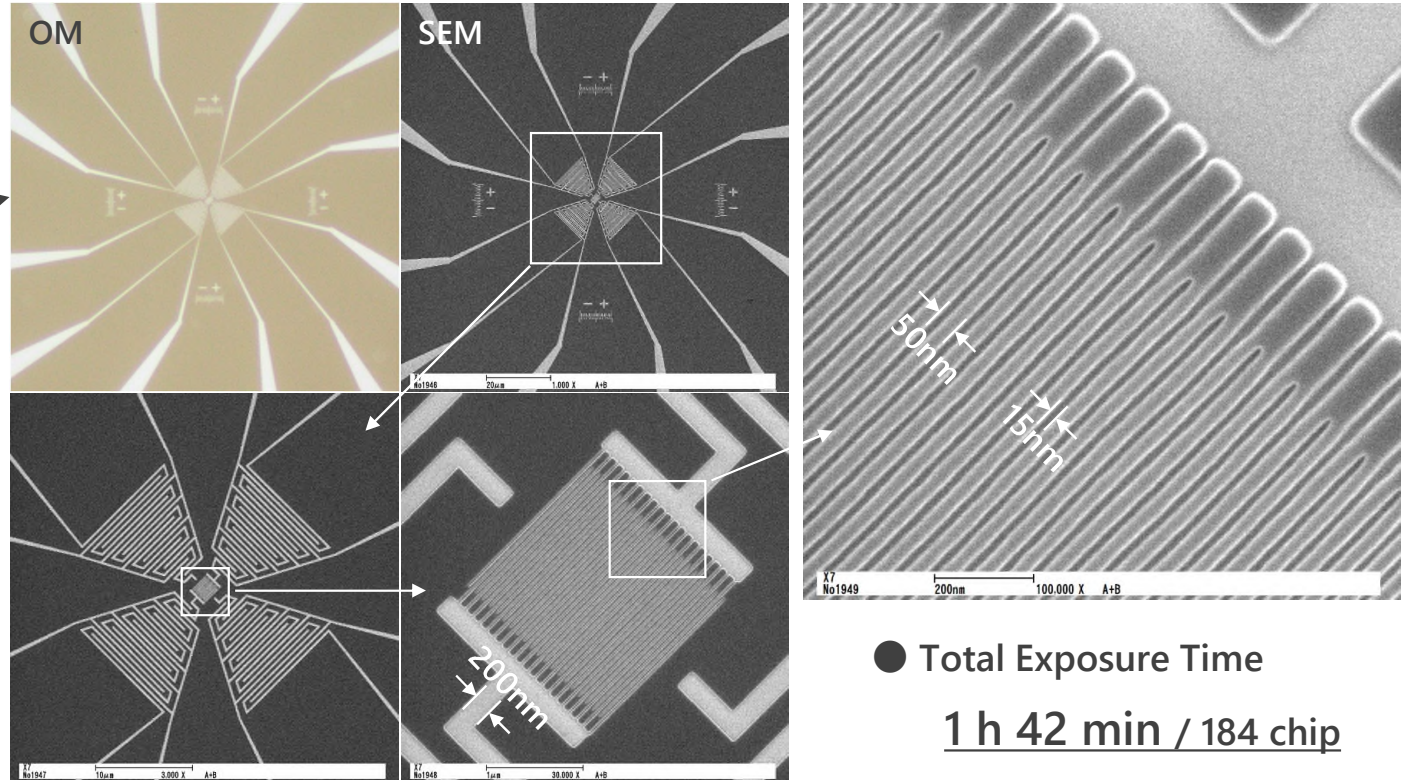
5 h 20 min / 184 chip

➡ $\mu\text{m} \sim \text{sub } \mu\text{m}$ オーダーのパターンを高スループットかつフィールドつなぎ無しに描画可能

描画結果 - ナノパターン



4点クロスマークを用いた
重ね合わせ描画を実行

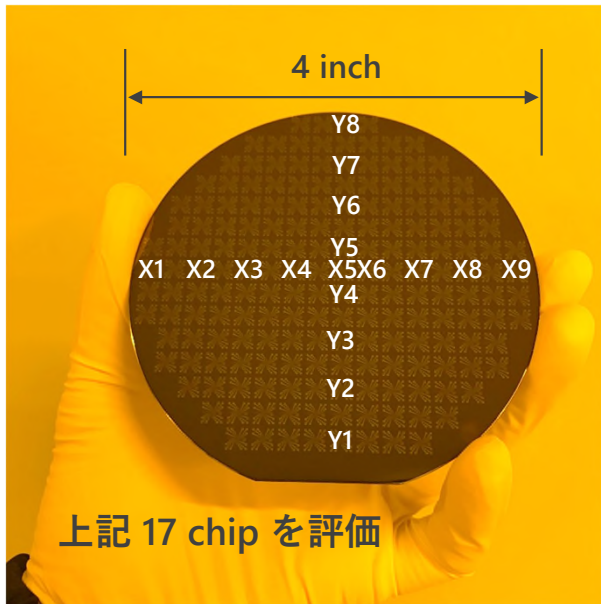


● Total Exposure Time
1 h 42 min / 184 chip

➡ 高加速電圧による超微細パターンの作製および高精度な重ね合わせ描画が可能

Result - Overlay accuracy & Total Process Time -

● Overlay accuracy



	X error [nm]	Y error [nm]
X1	20	-10
X2	20	0
X3	10	-10
X4	0	-10
X5	0	10
X6	-10	0
X7	0	0
X8	-10	10
X9	-10	0

	X error [nm]	Y error [nm]
Y1	-10	-20
Y2	0	-10
Y3	-10	0
Y4	0	-10
Y5	-10	10
Y6	-10	10
Y7	0	10
Y8	10	10

	Xズレ[nm]	Yズレ[nm]
Ave.	7.65	7.65
3σ	19.93	16.87

● Total Process Time

(Large pattern)

5 h 20 min

+

(Small pattern)

1 h 42 min

+

(Dev. & Load etc.)

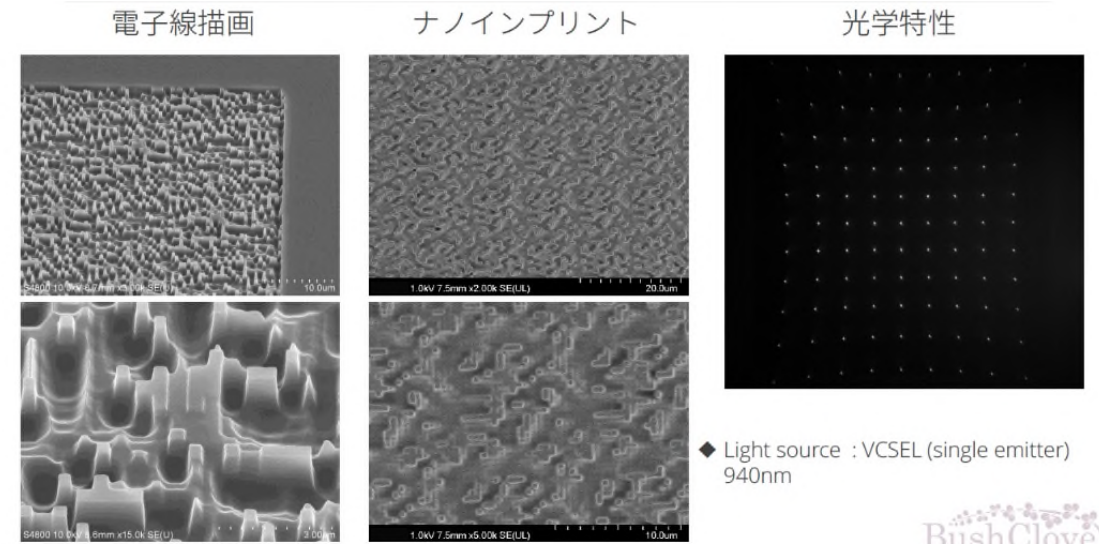
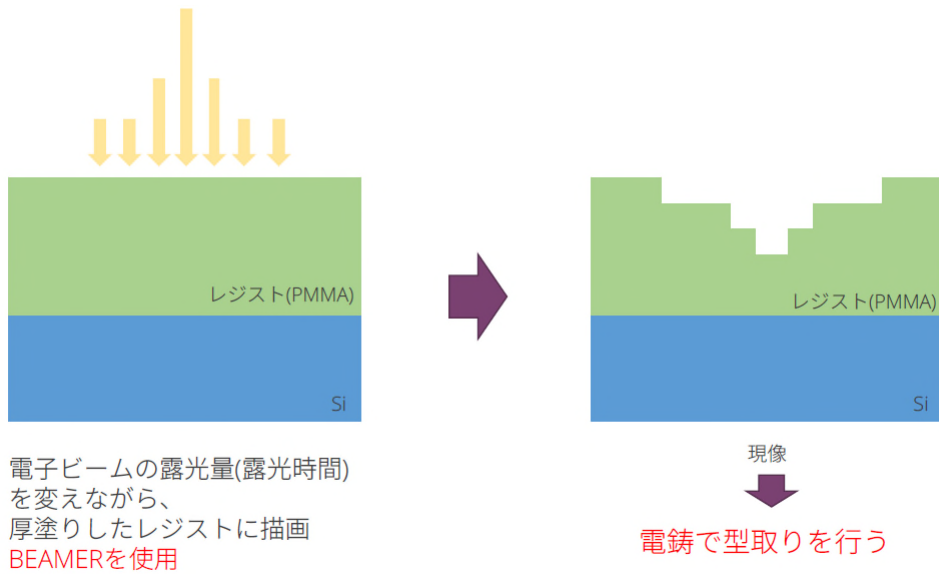
< 1 h

≦ 8 h / 184 chip

3Dパターンの一般的な作製プロセス

- ❑ プロセスが複雑
- ❑ 多段形状の作製時に、レジストが流れ落ちる。
- ❑ エッチング条件出しを複数回行う必要
- ❑ 作製可能な最小のパターンサイズに限界（約 $1\mu\text{m}$ ）

ナノメートルスケールからミクロメートルスケールまで DOE (Diffraction Optical Elements)



先行研究例 NPF 130kV

新関嵩、レーザー露光装置とEB露光装置を使った3次元パターンニング技術
NPF 電子ビームリソグラフィセミナーVI - 電子ビーム露光とレーザービーム描画によるミクロメートルスケール露光

大面積のDOEパターンマスクの必要性

ナノメータスケールグレースケール描画

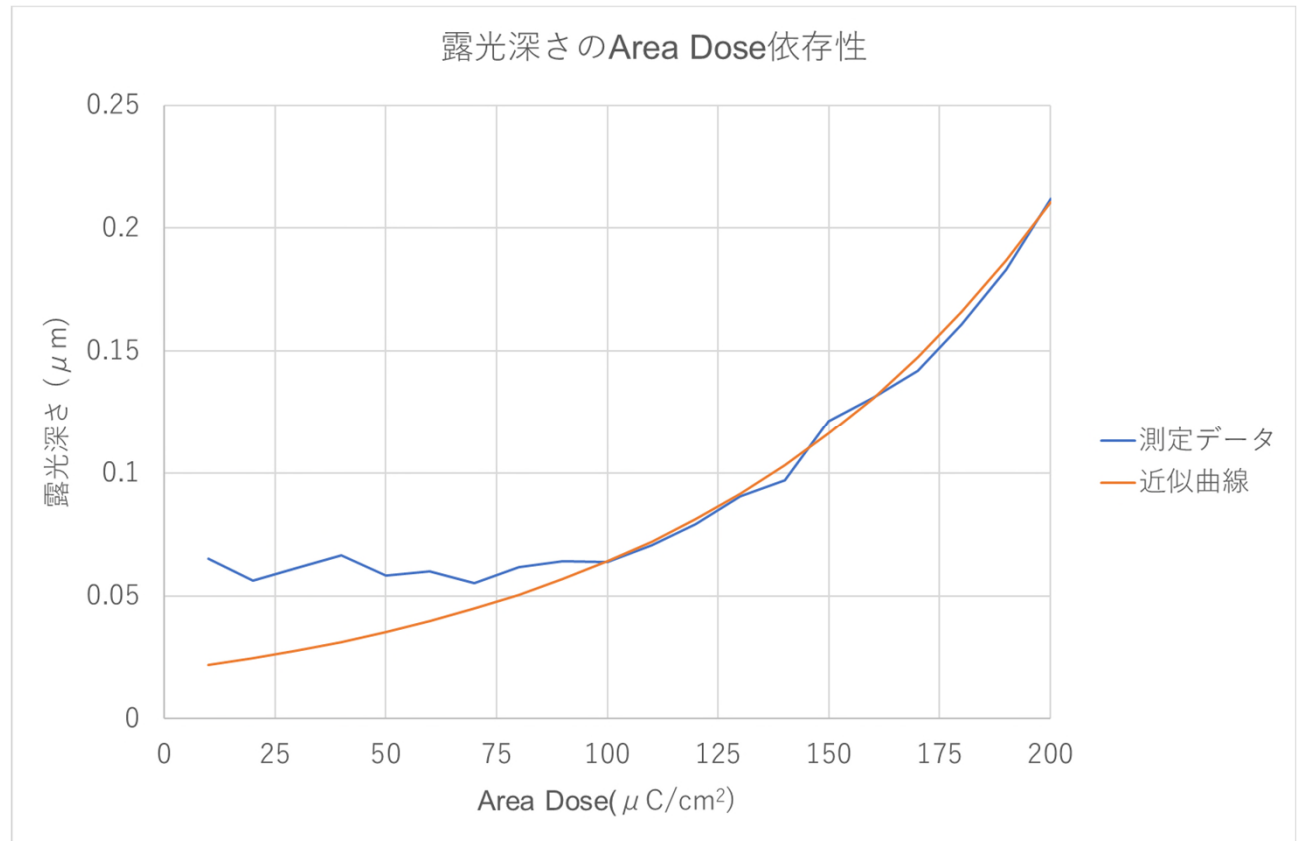
厚み3.5 μm GL-1400レジスト

10nA, Dose

ドーズー描画深さ評価用図面

100	200	300	400	500
90	190	290	390	490
80	180	280	380	480
70	170	270	370	470
60	160	260	360	460
50	150	250	350	450
40	140	240	340	440
30	130	230	330	430
20	120	220	320	420
10	110	210	310	410

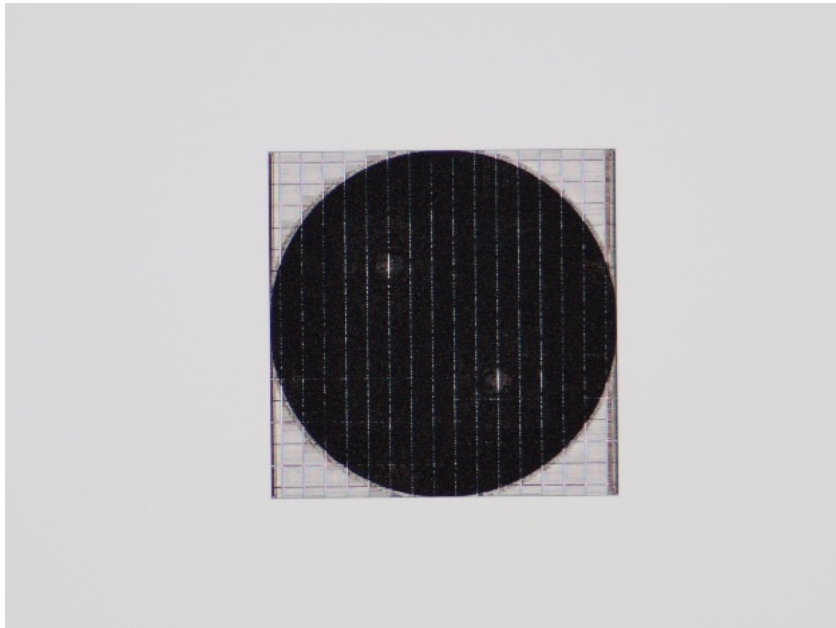
一個のパターン: 500 μm ×200 μm
隙間: 100 μm



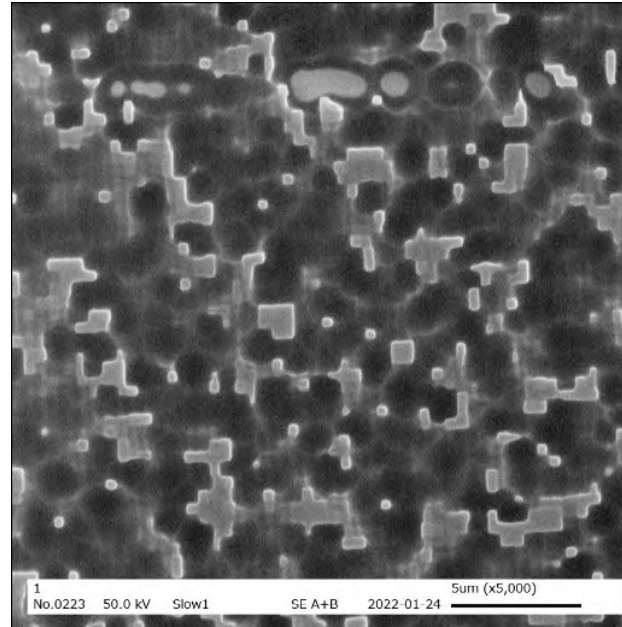
ナノメートルスケールグレースケール描画

DOE (Diffraction Optical Elements) の描画結果

DOE図面はスペースフォトン社から提供頂きました。



光学顕微鏡写真



SEM観察写真

130KVk機での
通常描画条件
1nAの場合 60 min

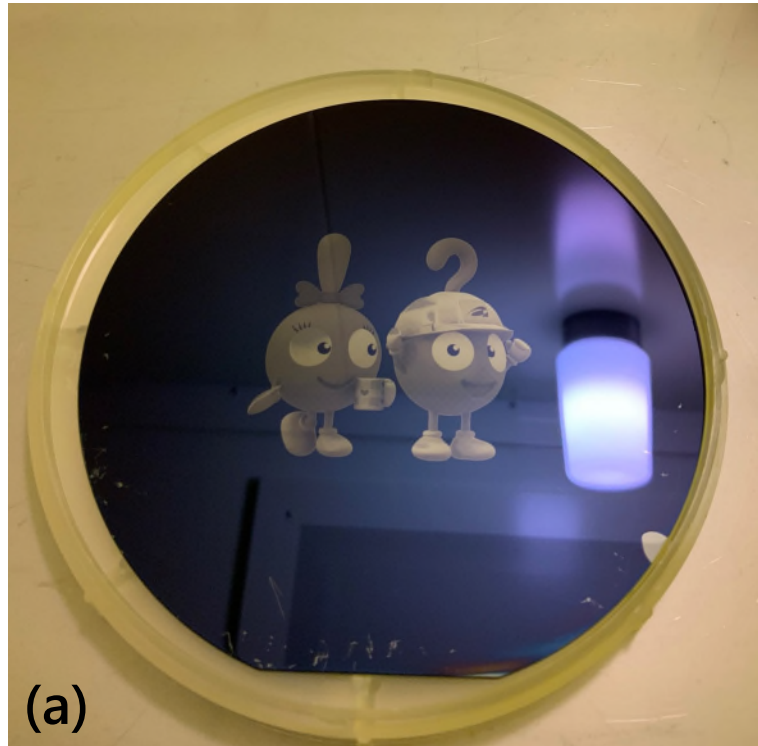
← UHSEB
10nAの場合 4.5 min

描画速度を13倍以上アップ

< DOEパターンサンプル >

実用化において、課題が
残されている

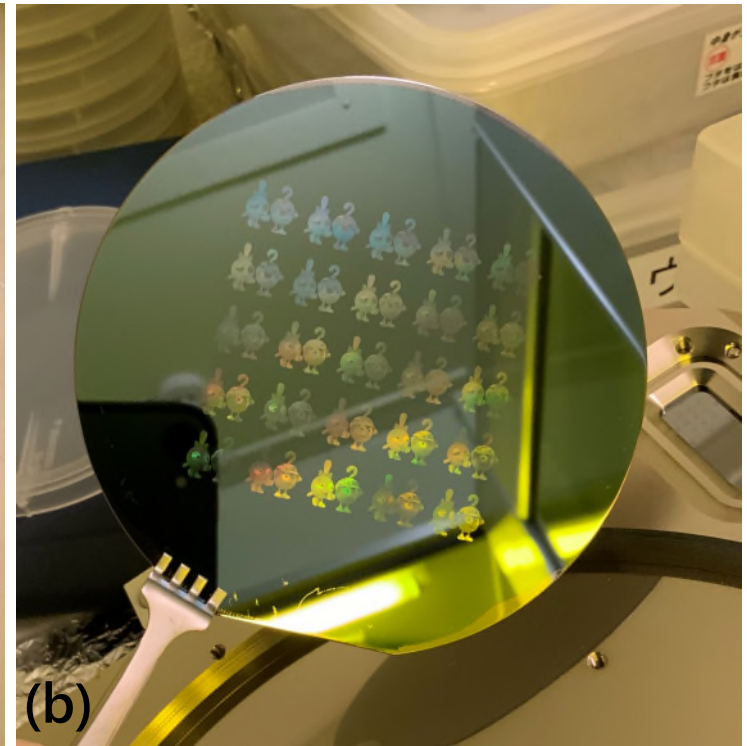
マイクロメートルスケールグレースケール描画



(a)

単色、描画時間：約2時間

4インチ ZEP520A/Si、50nA



(b)

多色、描画時間：約4時間

4インチ ZEP520A/Si、50nA

目次

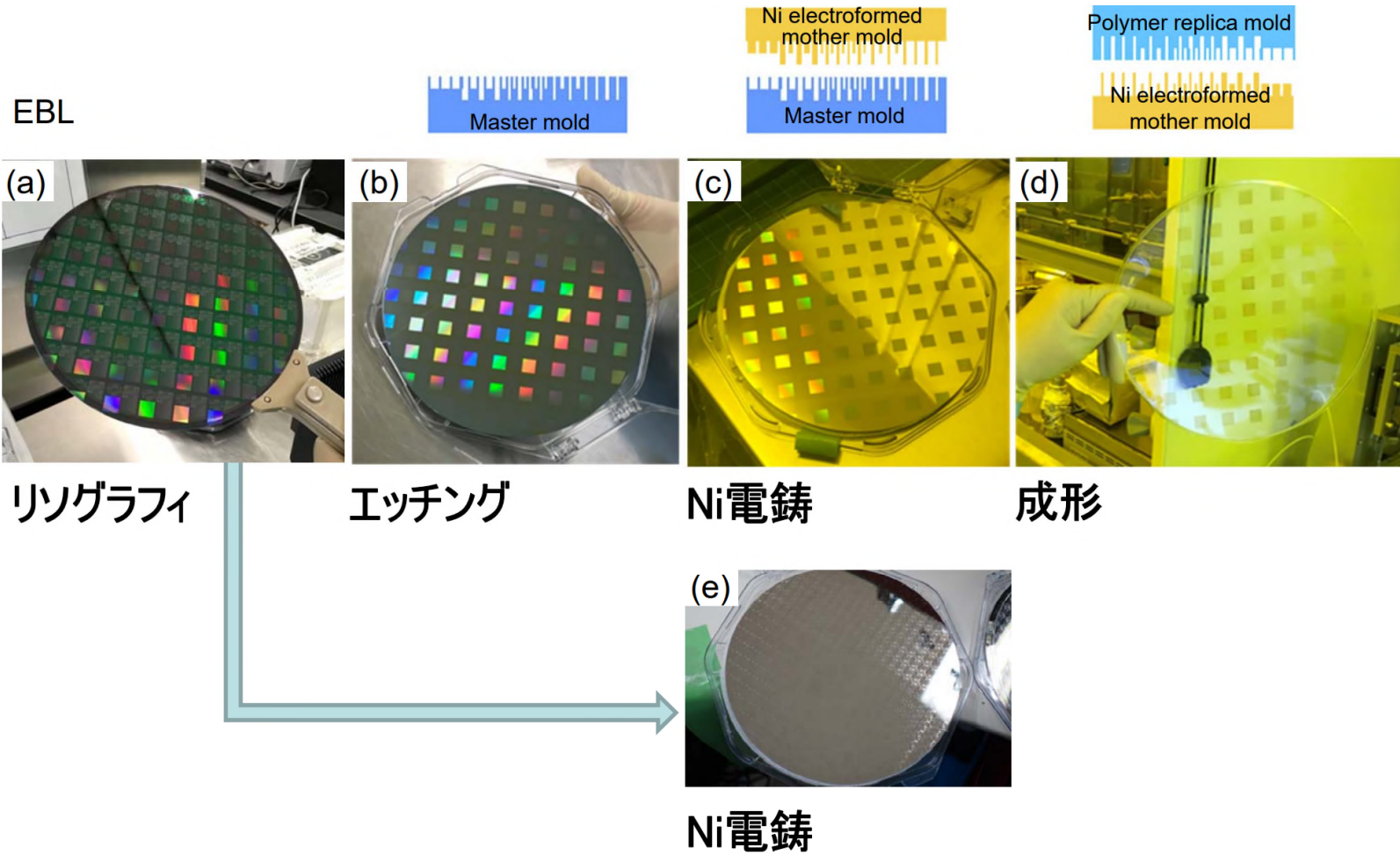
1. 序論

- ① 研究の背景
- ② 超高速電子ビーム加工装置の概要

2. 研究事例の紹介

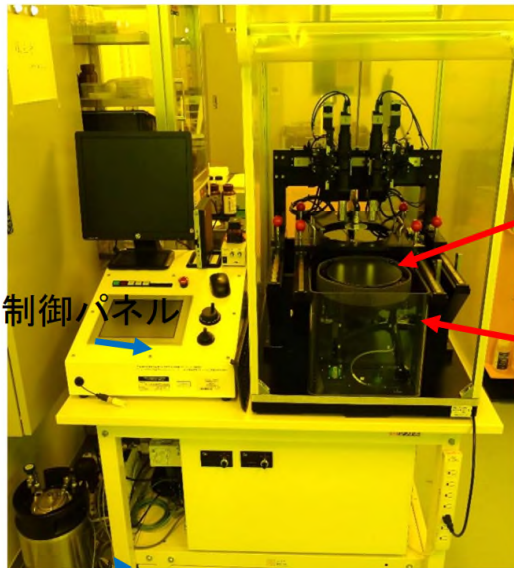
- ① 高速描画
- ② Mix-and-Matchプロセス
- ③ 3D描画
DOE、ナノインプリントモールド

レプリカモールド用マスタモールドの作製プロセス



ナノインプリントプロセス

自動貼り合わせ装置



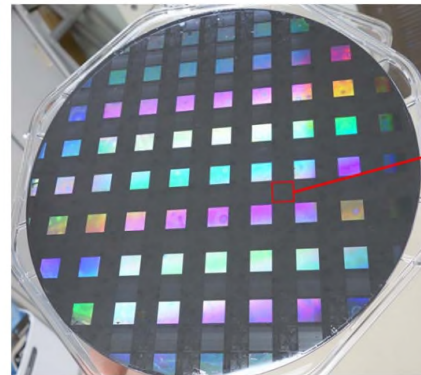
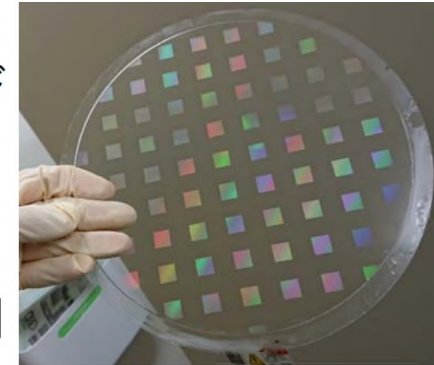
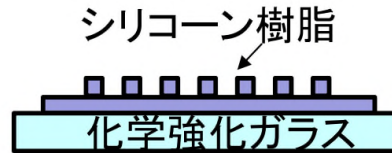
制御パネル

加圧機構

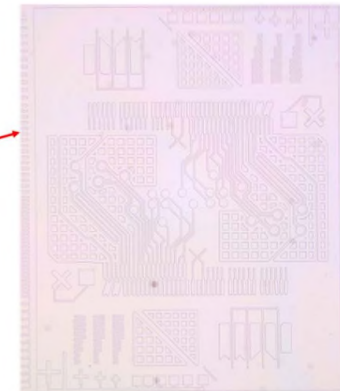
凝縮性
ガス導入

凝縮性ガス

8インチ対応ハイブリッド
シリコンレプリカモールド



(a)



(b)

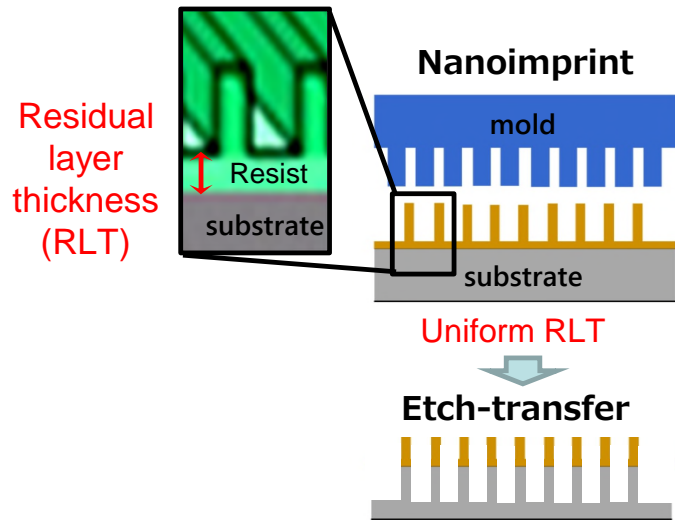
8インチ光ナノインプリントサンプル

大面積・高精度ナノインプリント技術の確立

残膜均一化

モールドパターンに粗密がある場合、残膜分布を均一にするためには工夫が必要

◎ Uniform density distribution



<Cross-sectional view of UV-NIL process>

◎ Non-uniform density distribution

low → high

mold

substrate

Nonuniform RLT

Viscosity resistance → hard to compensate by long pressing

Pattern profile after residual layer removal etching

Undercut

500nm

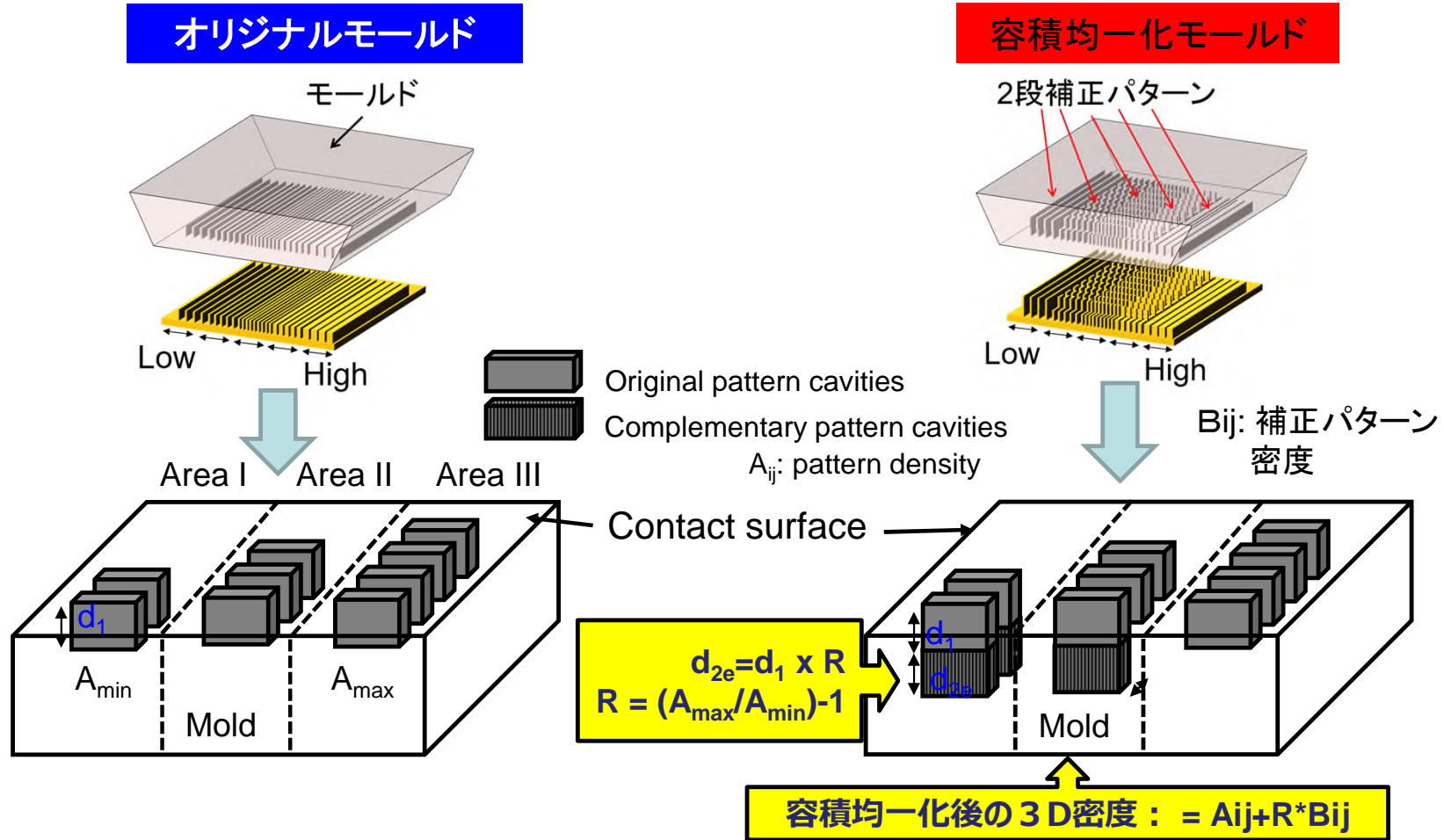
Y Tsuji et al., Journal of Physics: Conference Series 191 (2009) 012010

Non-uniform RLT map

V. Sirotkin et al., Microelectronic Engineering 84 (2007) 868

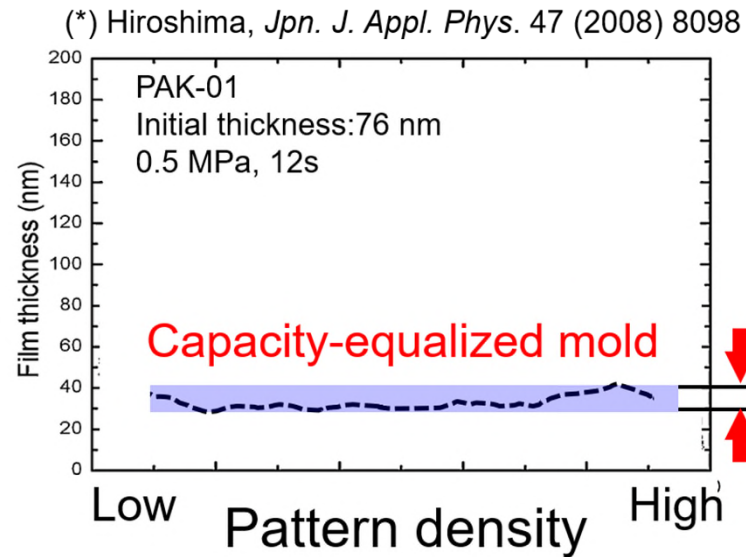
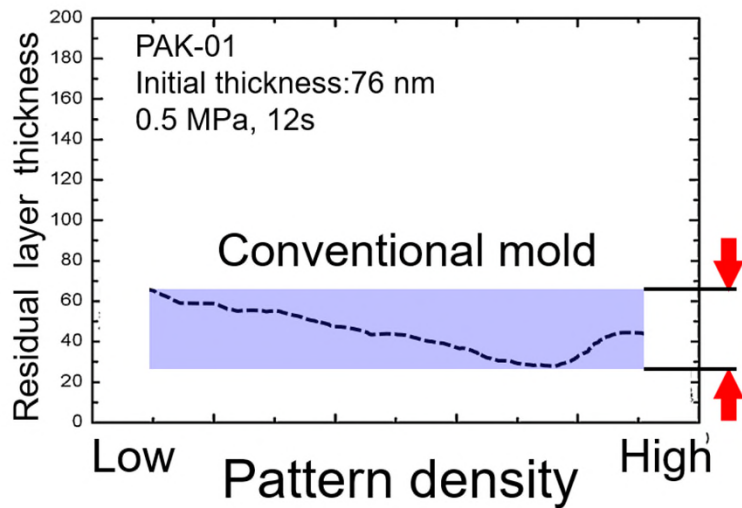
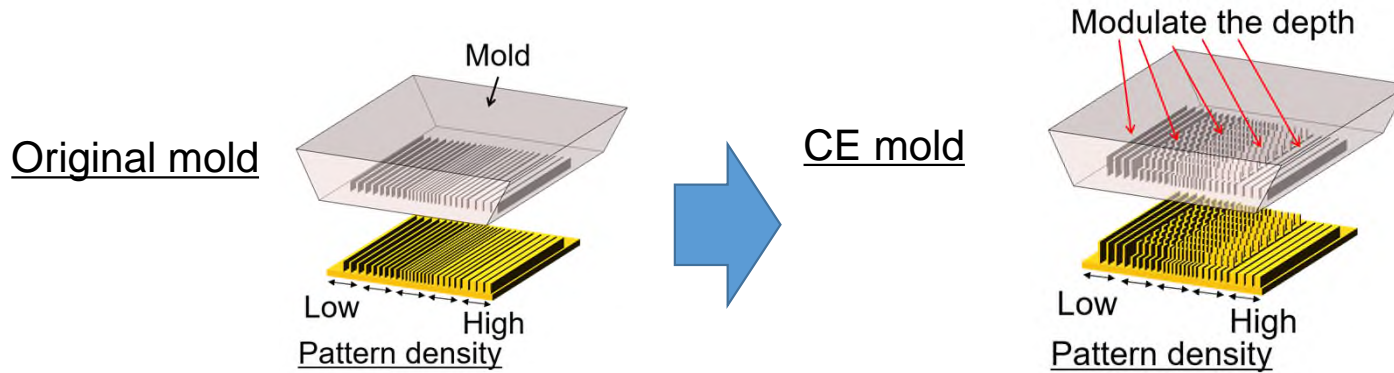
Considerable degradation of etched patterns

容積均一化モールド (2段パターン)



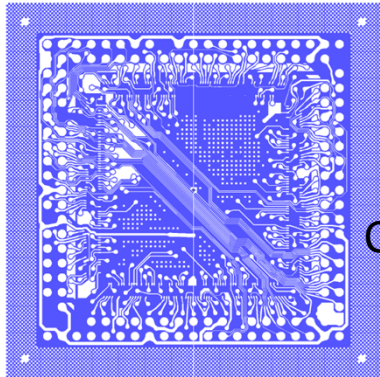
密度分布に関わらず、2段パターン構造でモールドの容積を均一化する手法

容積均一化モールドの残膜均一化効果



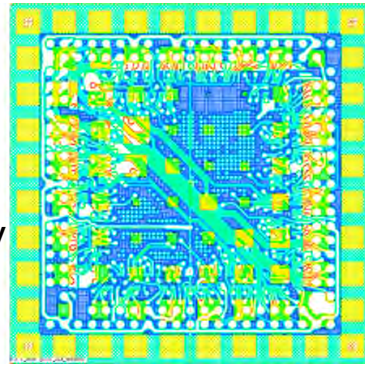
For a given mold design and conditions, the standard deviation of the RLT was reduced by 1/4

グレースケール描画による容積均一化モールドの低コスト化

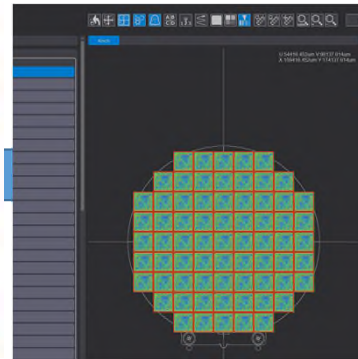


Original pattern

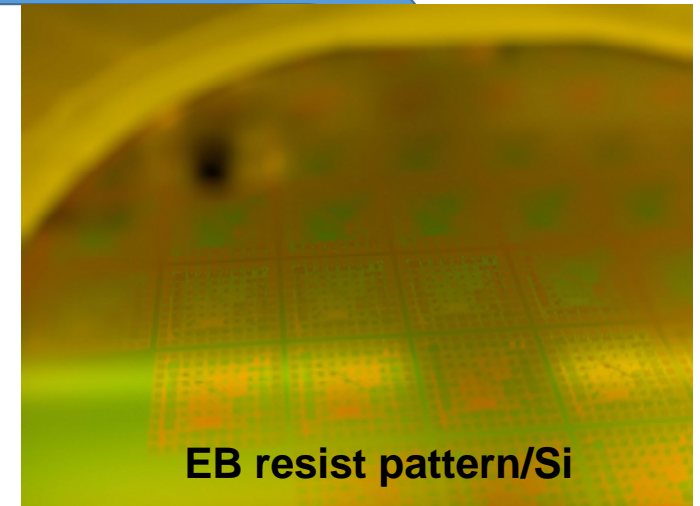
Converted by
STAMP
program



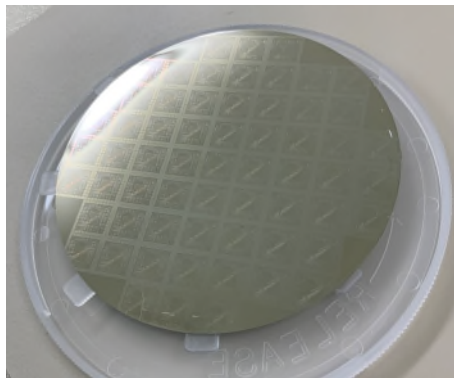
CE mold pattern



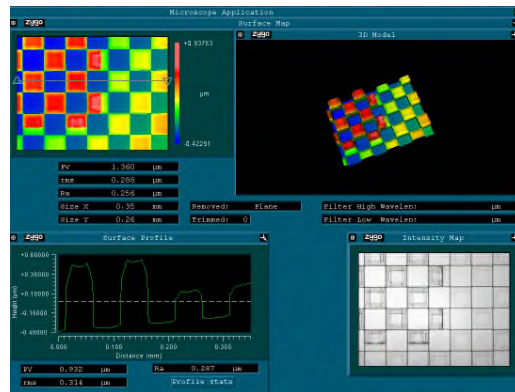
Duotone EBL



EB resist pattern/Si



Ni master mold



Ni electroforming

まとめ

大面積偏向、高スループット等の特長を有する超高速電子ビーム加工装置（UHSEB）はnmスケールから μm スケールサイズのパターンをウェハー（最大8インチ）全面に低コストで作製することができる。

現在、超高速電子ビーム加工装置(UHSEB)によるナノ加工技術の確立に必要な装置改善や環境およびプロセスの構築を行っている。その達成により、これまで実現が困難であったウェハレベル加工を実現し、モールドのみならず、各種デバイスの作製にも利用できるようにする。

また、ナノインプリント技術を併用した大量生産工程を構築していく。

ご清聴ありがとうございました。

Acknowledgement

I would like to express heartfelt thank to co-researchers of AIST and Elionix and all members of JST-CREST project.

Some parts of the presentation is based on results obtained from a project commissioned by the New Energy and Industrial Technology Development Organization (NEDO).