



コヒーレントEUV光を利用した半導体マスクパタン幅評価装置

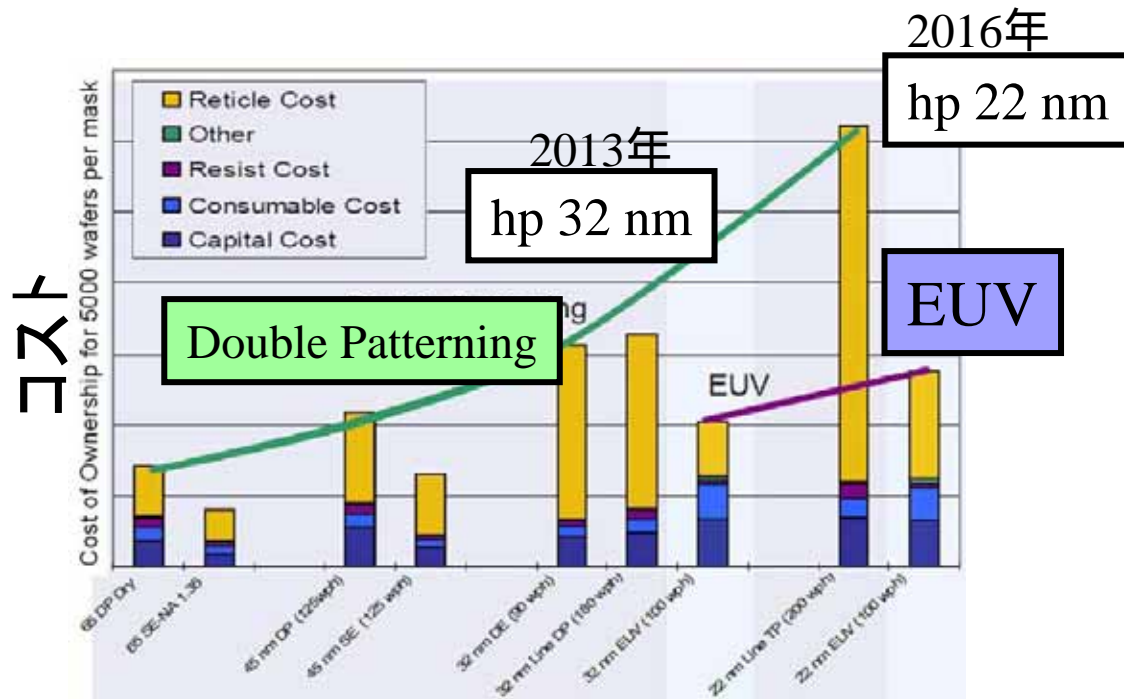
兵庫県立大学 高度産業科学技術研究所
EUVリソグラフィ研究開発センター,
CREST/JST

助教	原田 哲男
准教授	渡邊 健夫
教授	木下 博雄



研究背景: EUVリソグラフィー

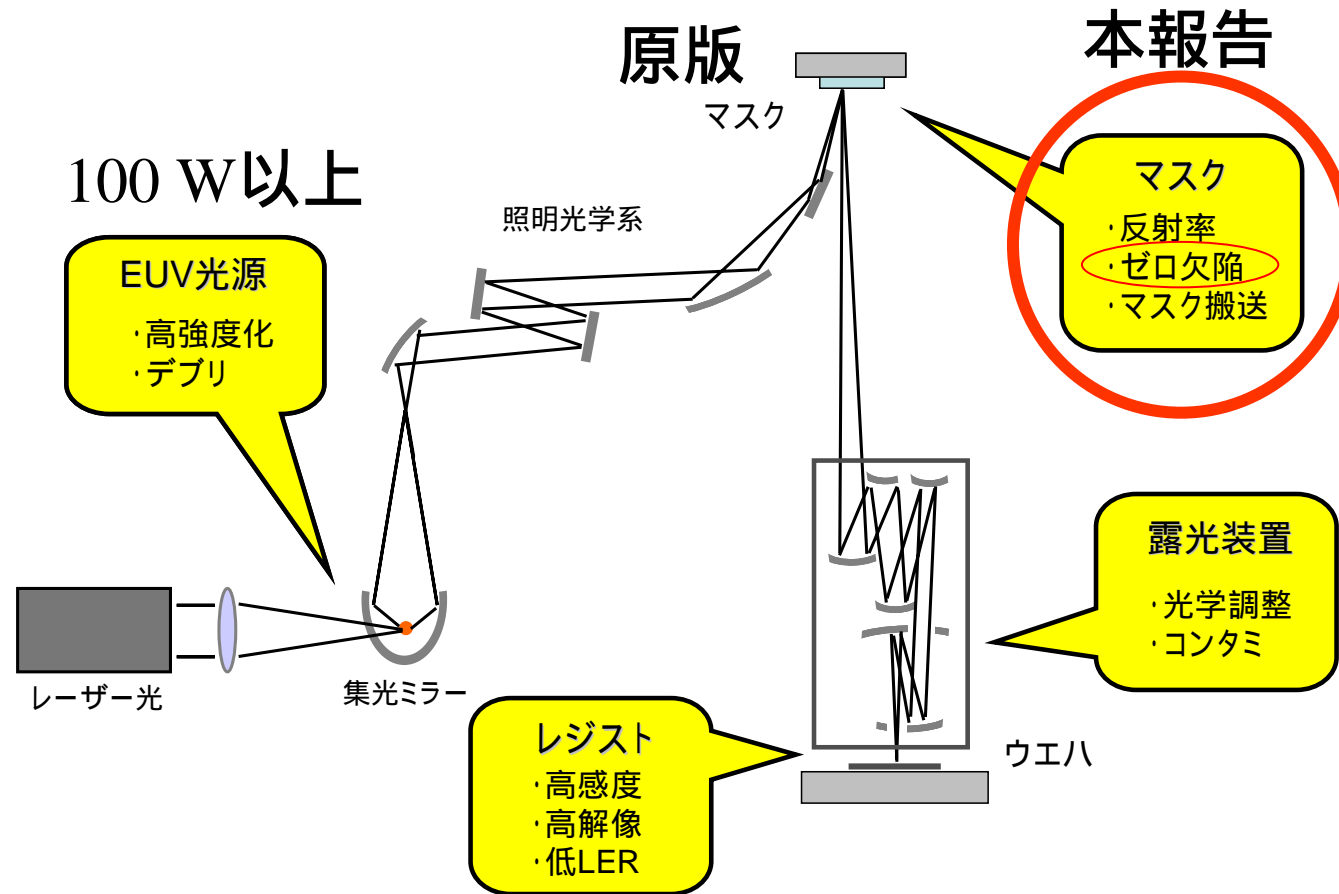
- 2012年より波長13.5 nmの極端紫外線 (EUV) リソグラフィーが量産開始
- 今年6台の量産評価機が出荷 (オランダ ASML社)



- 従来リソグラフィー液浸193 nmは45 nmで限界.
- 延命技術の2回露光 (DP) より13.5 nmのEUVリソグラフィーの方がコストが安い.
- EUVLはhp 10 nm以下まで延長可能な究極の光リソグラフィー技術

2009年国際半導体ロードマップにおける各種リソグラフィ技術のコスト見積

研究背景: EUVリソグラフィ



EUVリソグラフィ装置の構成図

EUVL特徴

- ・反射光学系
- ・多層膜コート
- ・反射率 70%
- ・真空中
- ・プラズマ光源

EUVL開発課題 (2010/10 EUVLシンポジウム)

1. 無欠陥マスク

1. 光源強度

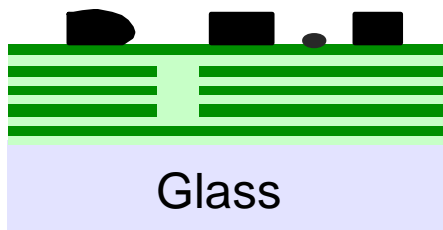
3. レジスト

研究背景: EUVマスク検査

半導体パタンの原版であるマスクには欠陥があってはならない
実露光波長での欠陥検査が必須

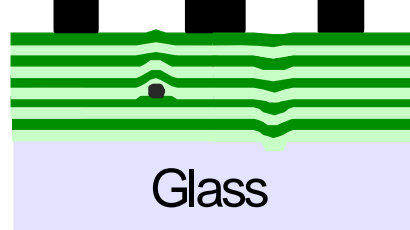
マスク上の欠陥種類

振幅欠陥



反射強度に影響

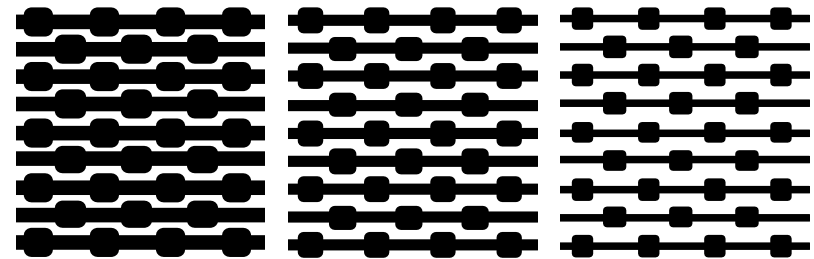
位相欠陥



反射位相に影響
多層膜中欠陥,
基板Pitなど

1 nm深さの凹凸も欠陥として
転写されうる

パタンの寸法(CD)変化

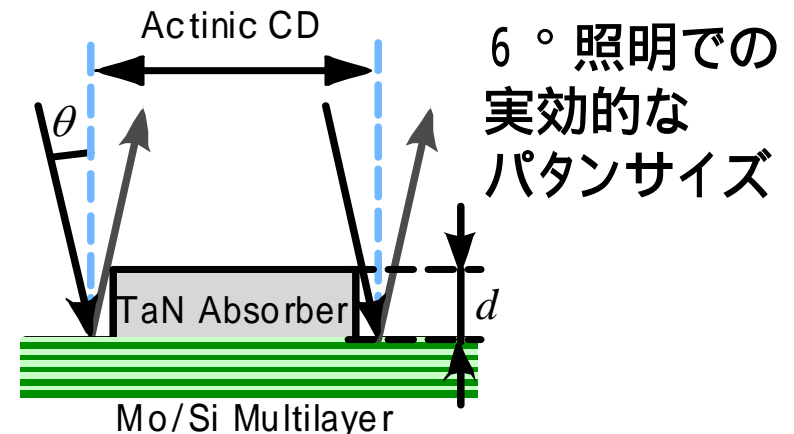


CD大

CD中

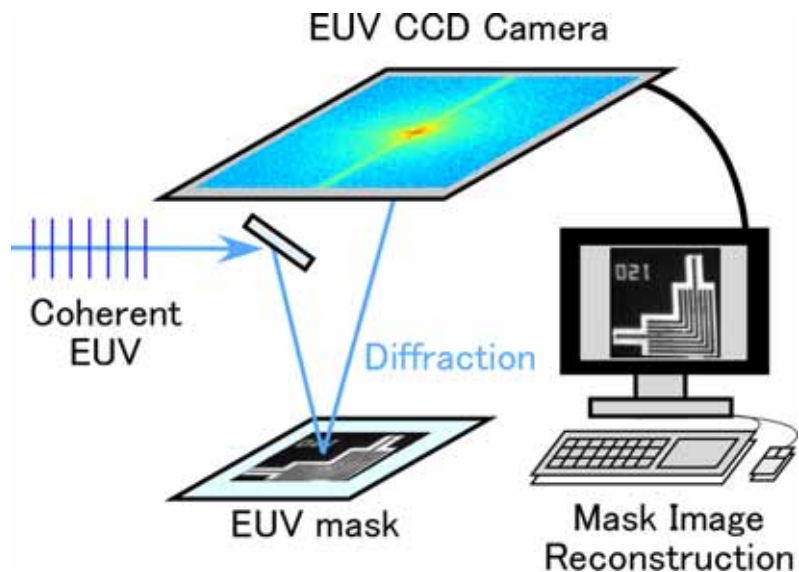
CD小

Shadowing Effect



新技術の基となる研究成果・技術 コヒーレントスキヤトロメトリー顕微鏡

Coherent EUV Scatterometry Microscope (CSM)



寸法検査 + 欠陥評価

- サンプルをコヒーレントEUV光で照射
- パタンのフーリエ変換強度である回折強度をCCDカメラで記録
- 計算により、像再生

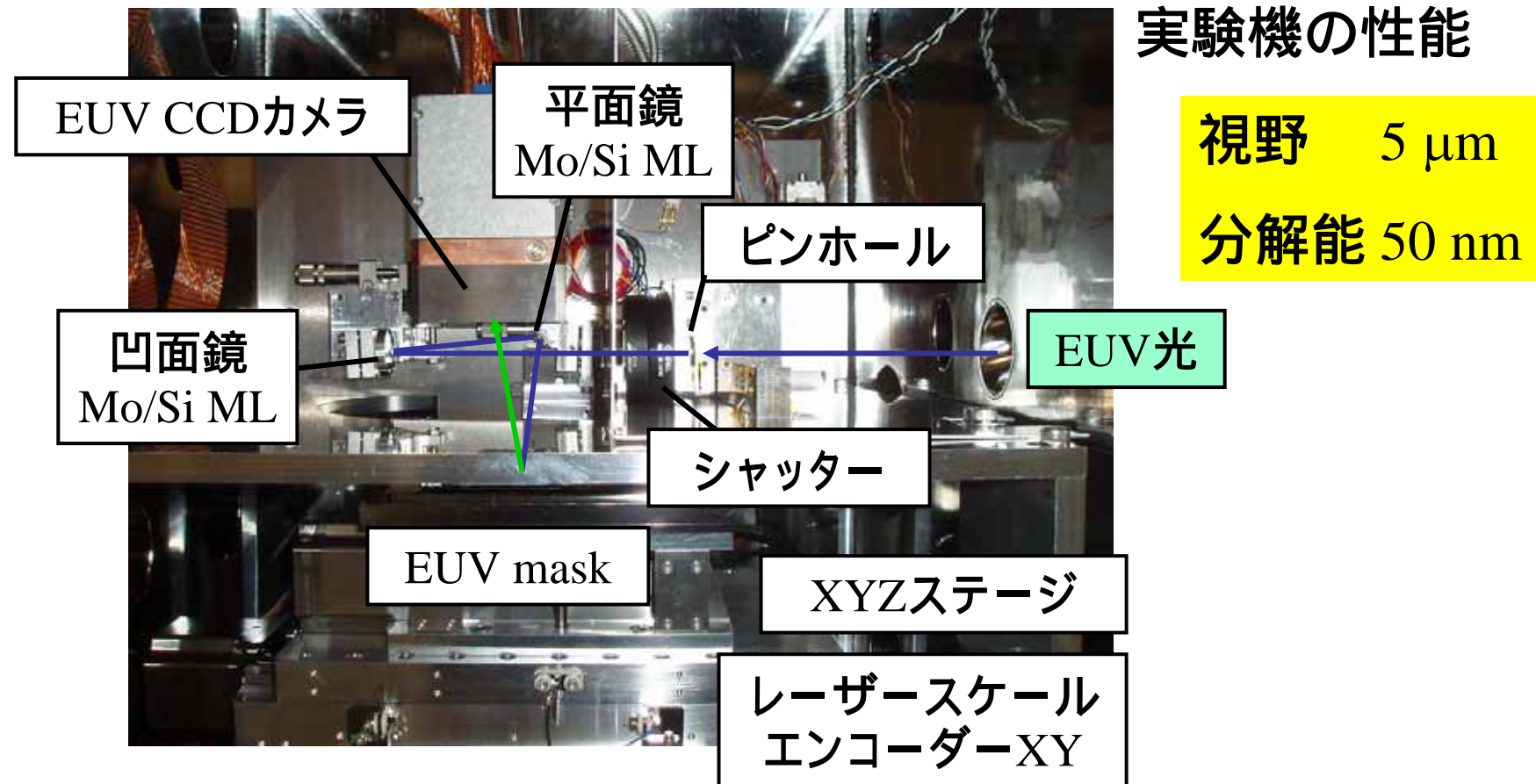
複雑な調整無しに、照射するだけで情報が得られる

目標

欠陥検出サイズ 20 nm, 寸法測定精度 0.01 nm

コヒーレントスキヤトロメトリー顕微鏡

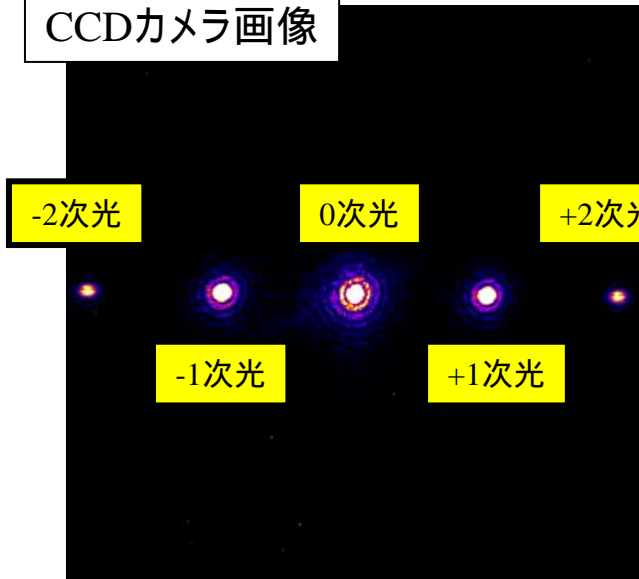
現在，放射光施設ニュースバル(BL-3)にて開発中のCSM実験機 内部写真



測定例

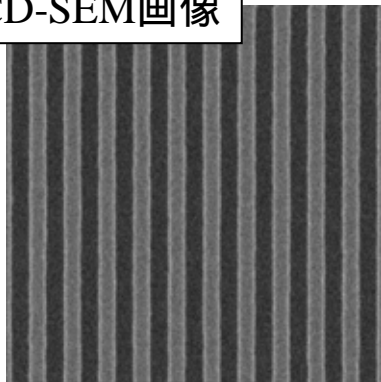
32 nm世代用
hp 128 nm, L/Sパターン

CCDカメラ画像



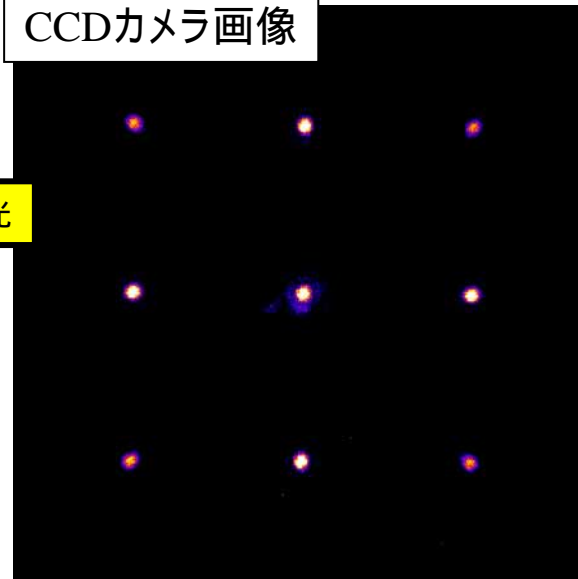
Line and Space Pattern

CD-SEM画像



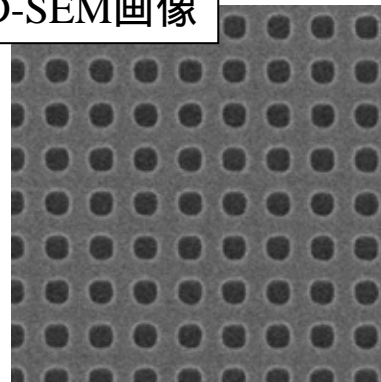
28 nm世代用
hp 112 nm, Holeパターン

CCDカメラ画像



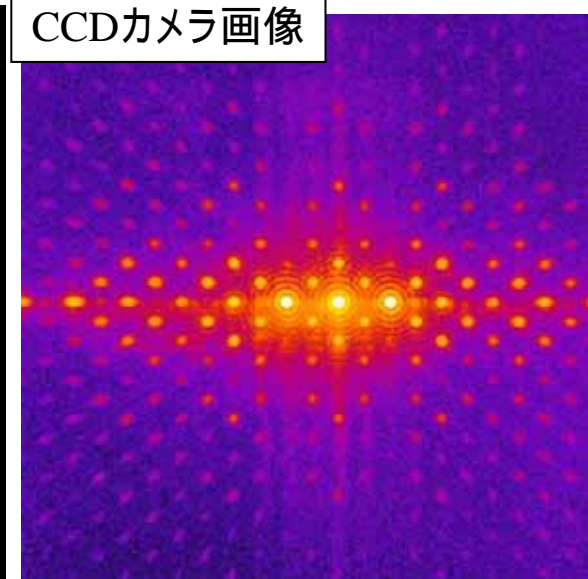
Hole Pattern

CD-SEM画像



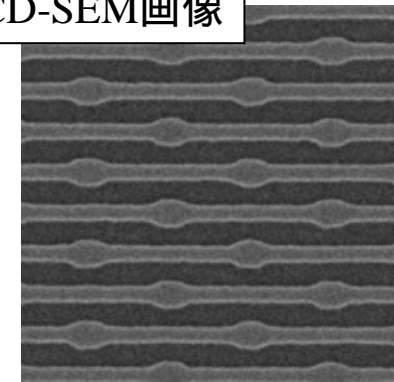
強度対数表示
ビットラインパターン

CCDカメラ画像

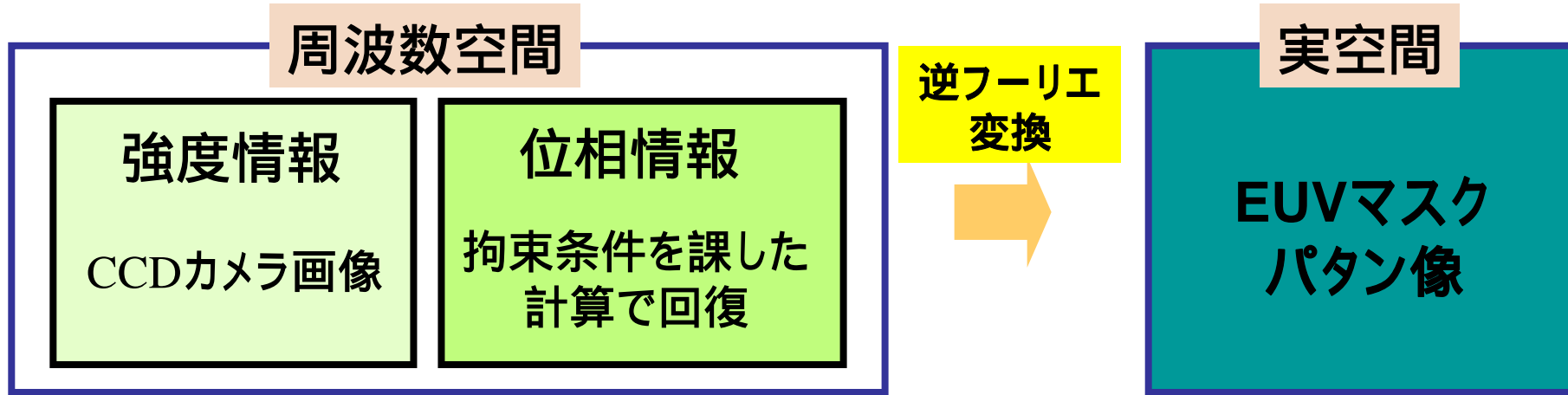


Bit-line Pattern

CD-SEM画像

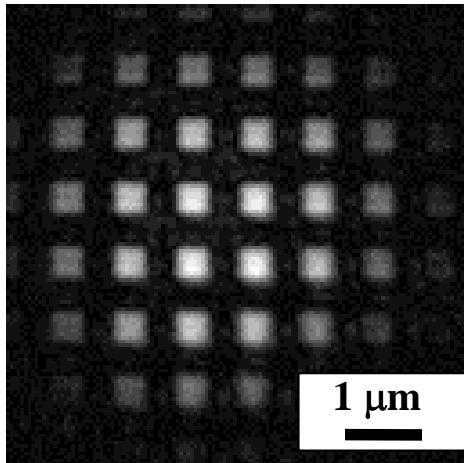


パターン像観察

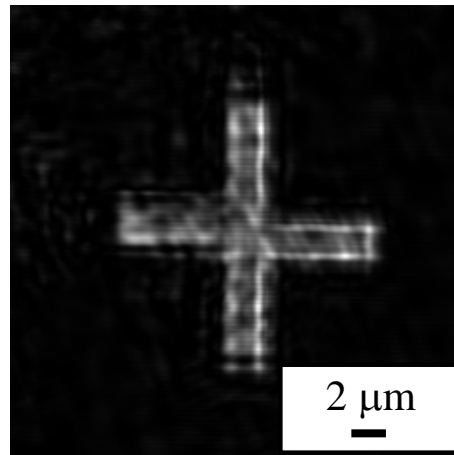


位相回復アルゴリズムで計算したパターン像

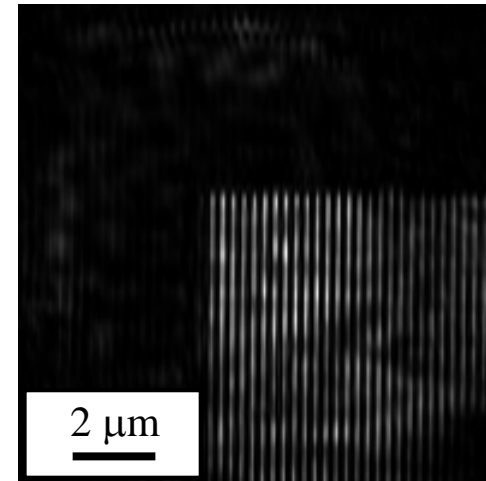
周期的パターン
ホールパターン
hp 400 nm



非周期パターン
十字マーク



非周期 + 周期パターン
L/Sパターン端点
hp 128 nm



CSMでの欠陥像観察

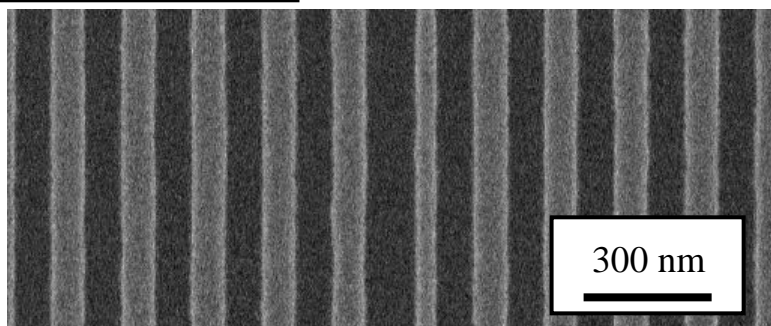
L/Sパターン内にプログラム欠陥を配置

CD-SEM画像

欠陥位置



明部TaN

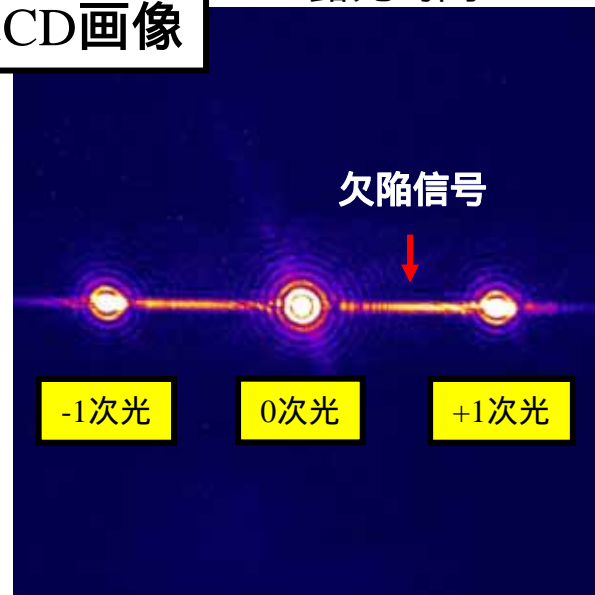


88 nm L/Sパターン, 線幅アンダー欠陥

欠陥サイズ 2 ~ 40 nm

CCD画像

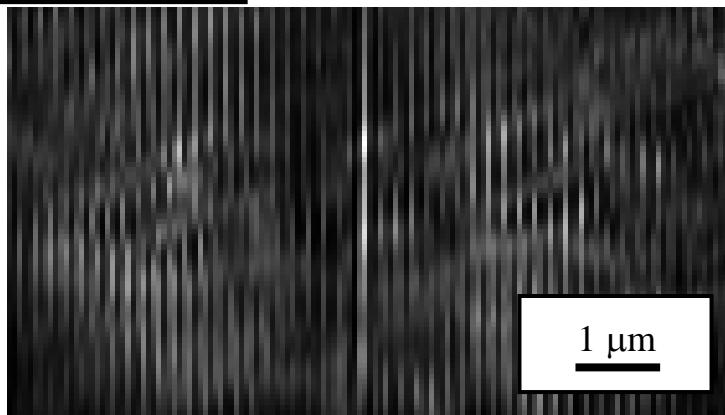
露光時間 100 s



線幅 30 nmアンダー

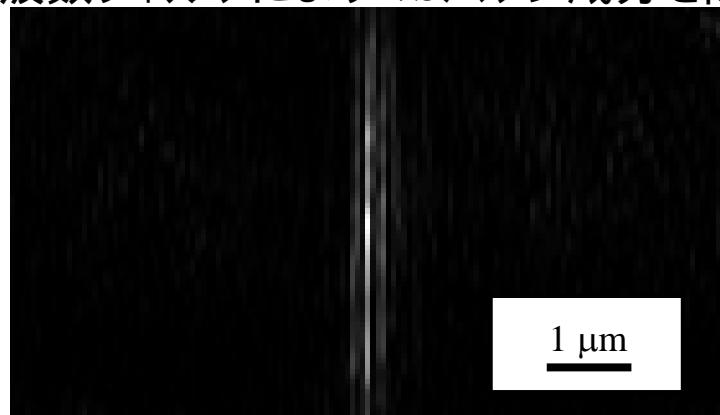
CSM再生像

(200回反復計算後)



↑ 欠陥

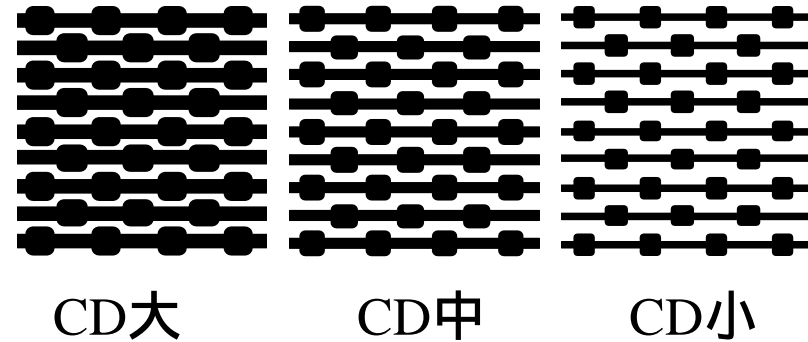
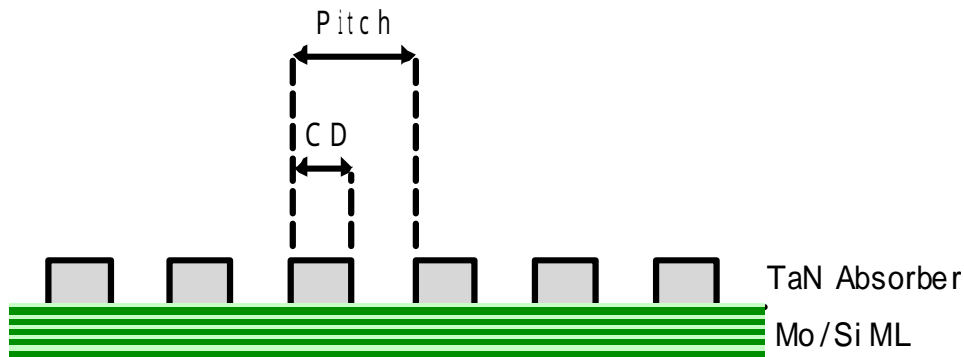
周波数フィルタによりL/Sパターン成分を除去



↑ 欠陥

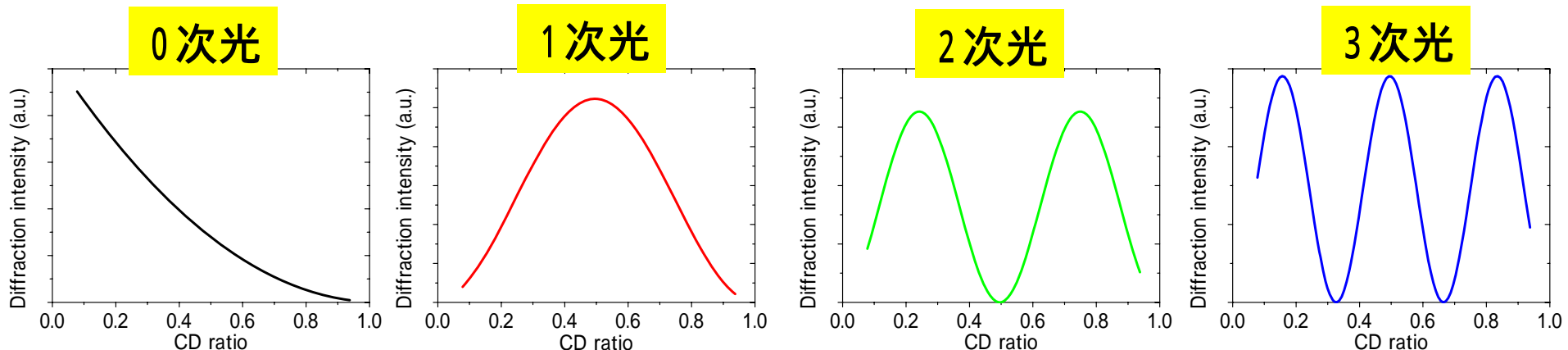
欠陥をパターン
像として評価
できた

EUVマスクのパターン幅(CD)評価



どのようにしてCDを評価するか？

各回折強度はCD値により敏感に変化する

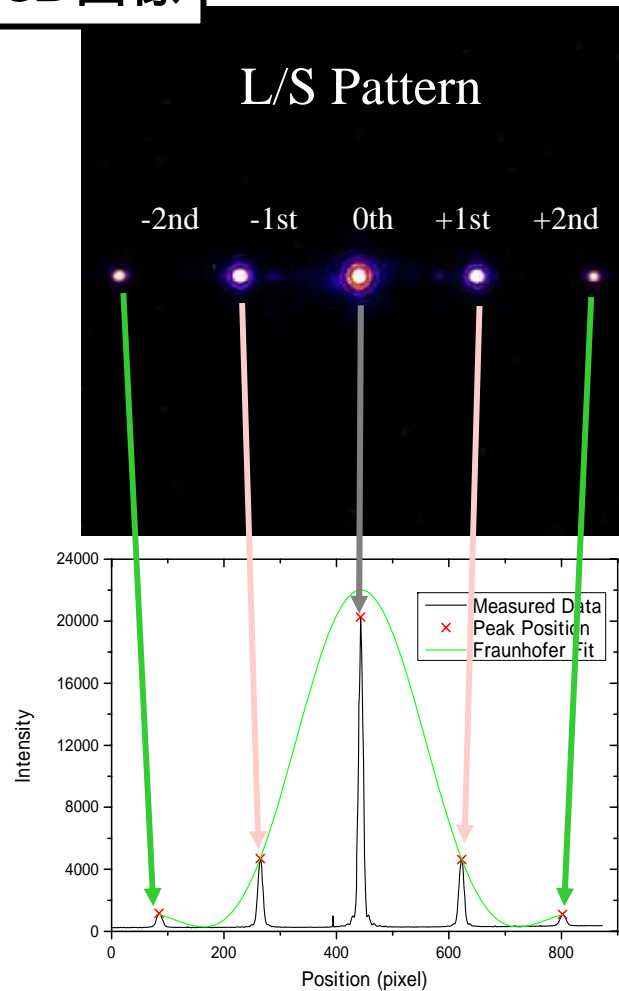


各回折光強度より露光機での実効的なCD値を評価する

CD 評価原理

CSM測定データより各次数強度導出

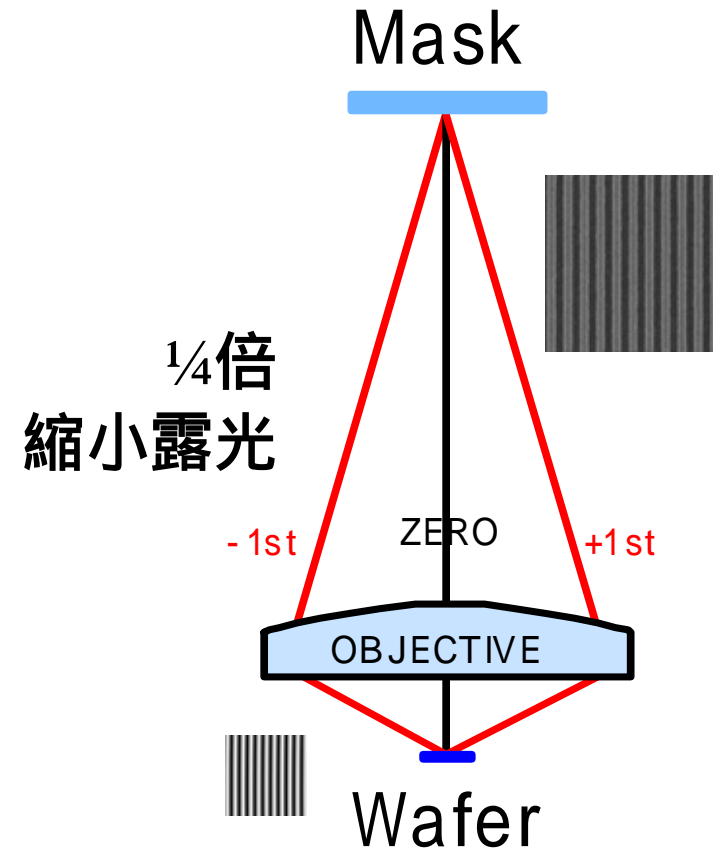
CCD画像



CSMの測定データと
強度プロファイル

CD評価原理

- 微細パタンの結像では0次光と1次光のみが結像する

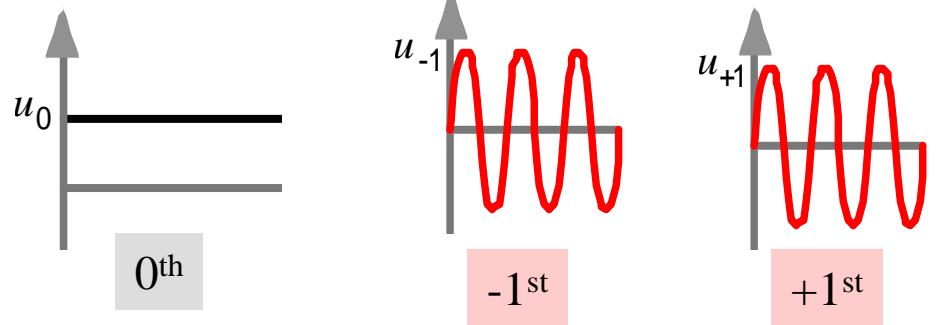


CD評価手順

CD評価手順

1. 結像に寄与する0次と1次光強度を評価
2. 1次光の位相はCDには影響しない
3. 0次と1次光強度よりパターン強度像に変換
4. レジスト感度/ドーズ量に相当する I_{th} を決定し, CDを評価

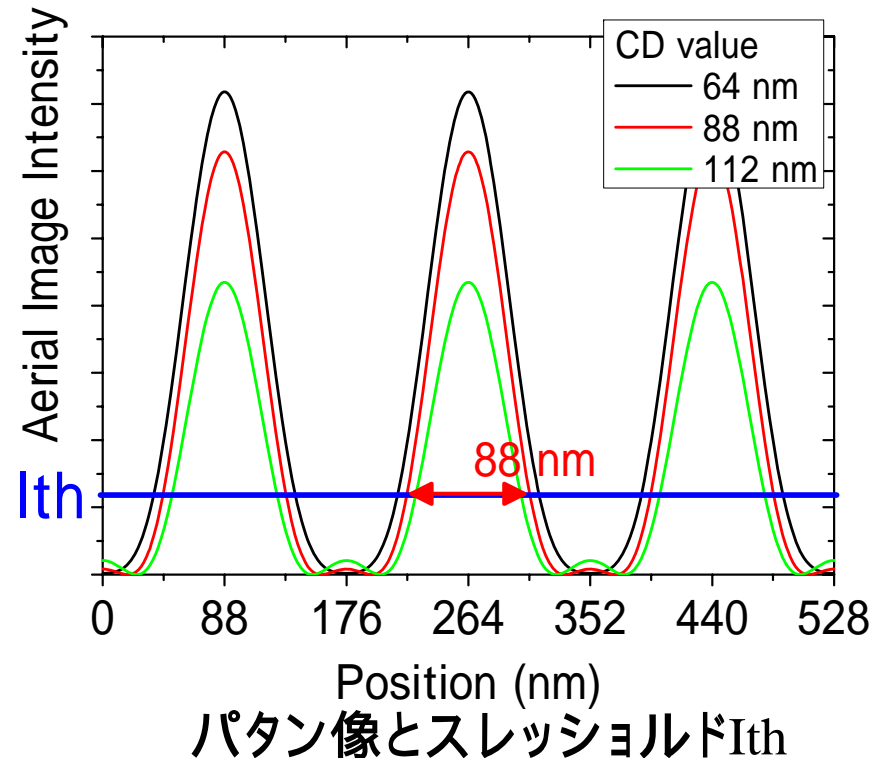
各次数の振幅



± 1次光は同位相と仮定

Aerial Image I

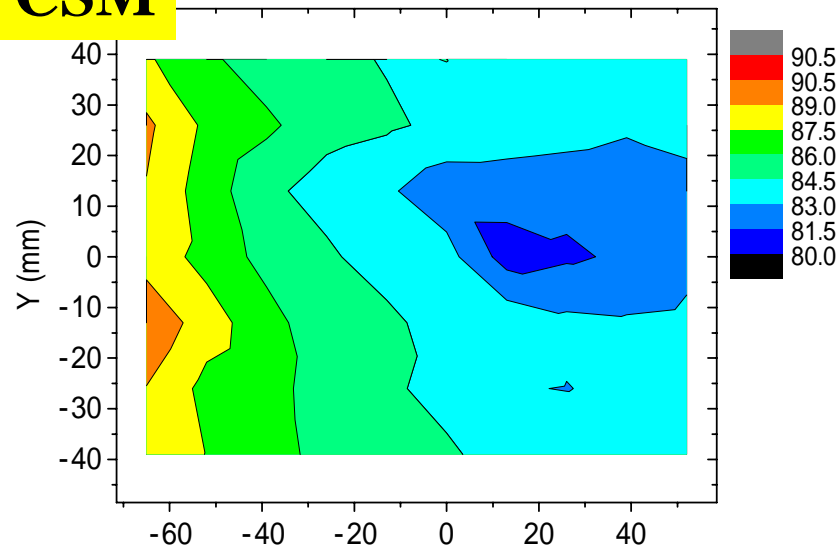
$$I = |u_0 + (u_{-1} + u_{+1}) \cos \theta|^2$$



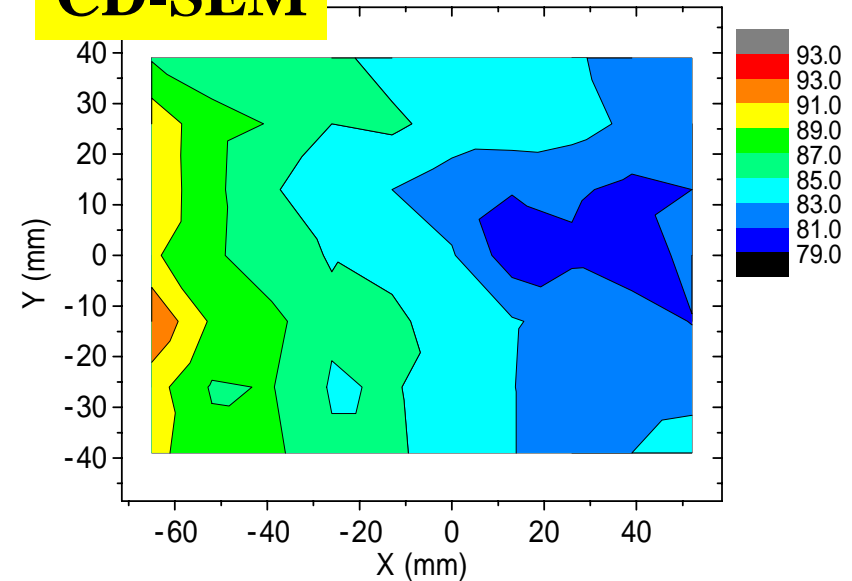
CD評価結果

22 nm世代用 L/Sパターンをマスク全面で測定
従来技術であるCD-SEMでの測定結果と比較

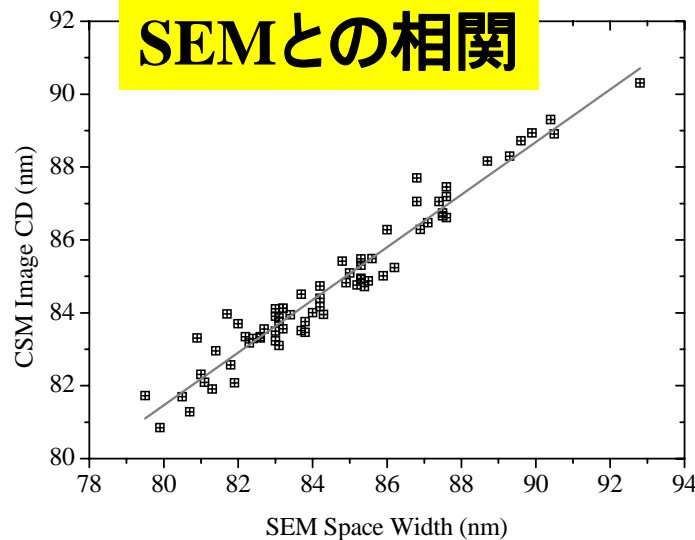
CSM



CD-SEM



SEMとの相関

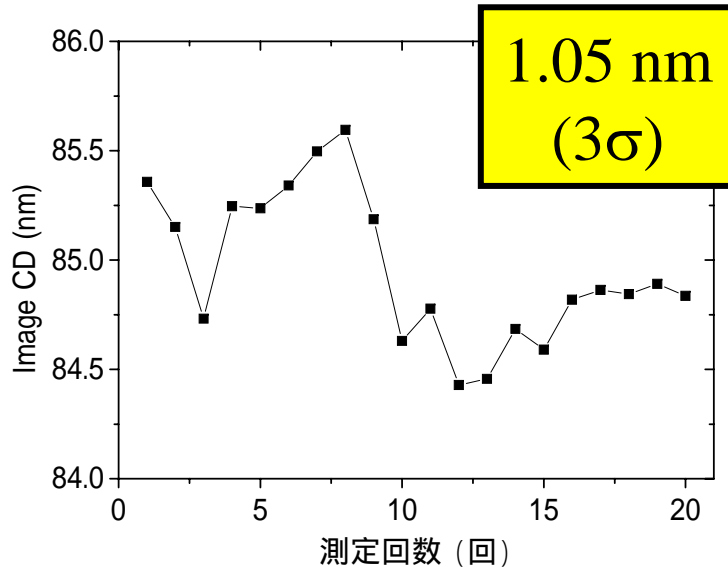


- CD-SEM測定結果と一致し、
良い相関がある。

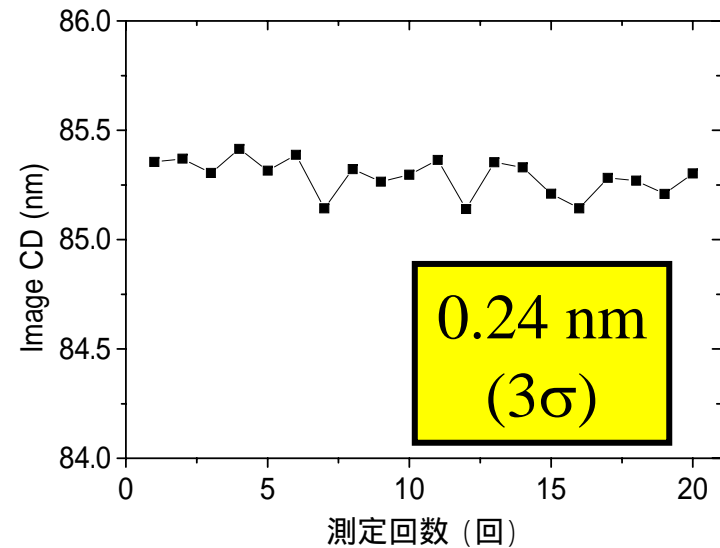
測定中光学系の微調整無し
高速かつ高精度全面スキャン

CD測定再現性向上技術

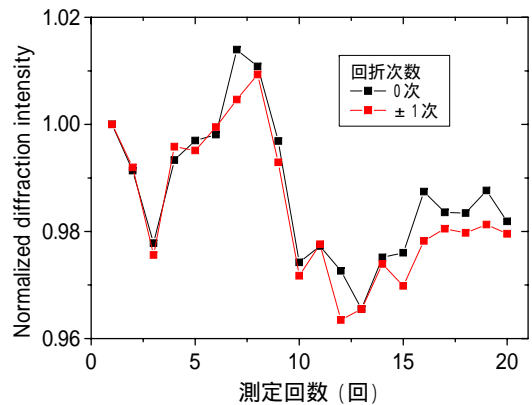
同一点を連続測定したときの測定再現性
22 nm世代用 L/Sパタン



パタン形状を矩形と仮定して
強度比より照射量補正



0次光と1次光の強度変化生データ



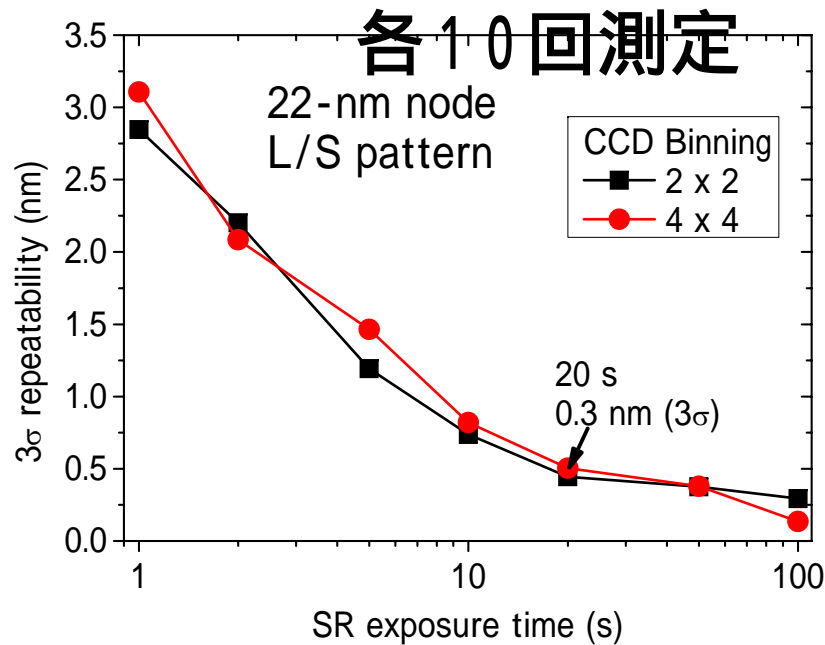
光源の安定性(照射量変化)により,測定値が変化する.

パタン形状を仮定して計算し補正した.
強度比よりCD導出できた

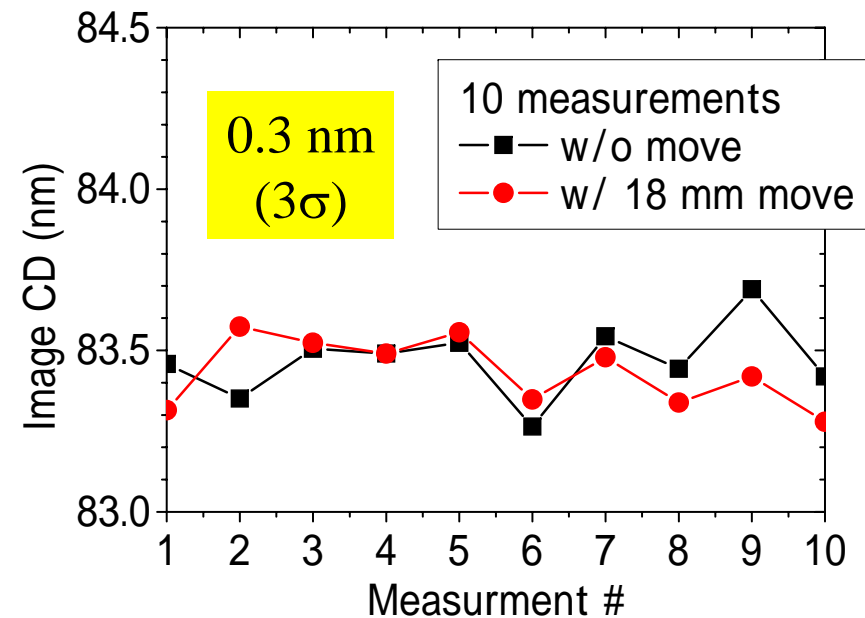
繰り返し測定再現性 0.24 nm (3 σ)

CSMでのCD測定再現

国際半導体ロードマップにおける hp 22 nm世代 line系
CD測定精度要求値 0.65 nm (3σ)



測定時間とCD測定再現性



20s 同一点10回測定でのCD変動

- 2012年より適用されるhp 22 nm世代用EUVLマスク全面を評価
- 移動も含めた測定再現性で0.3 nm (3σ)を達成

高次高調波コヒーレントEUV光源

理研との共同研究

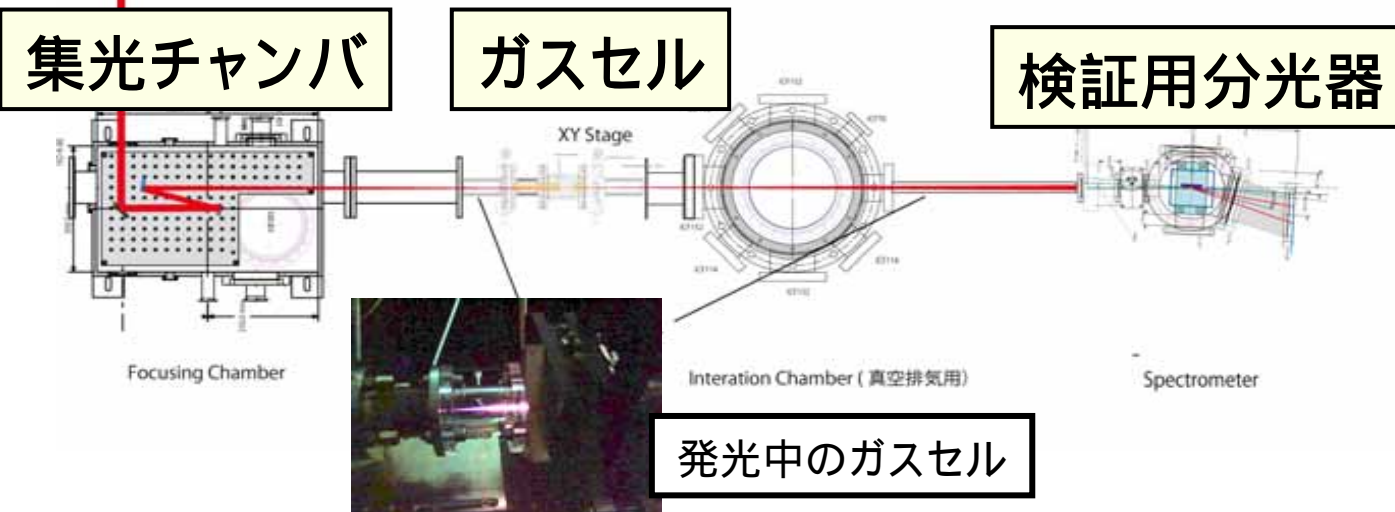
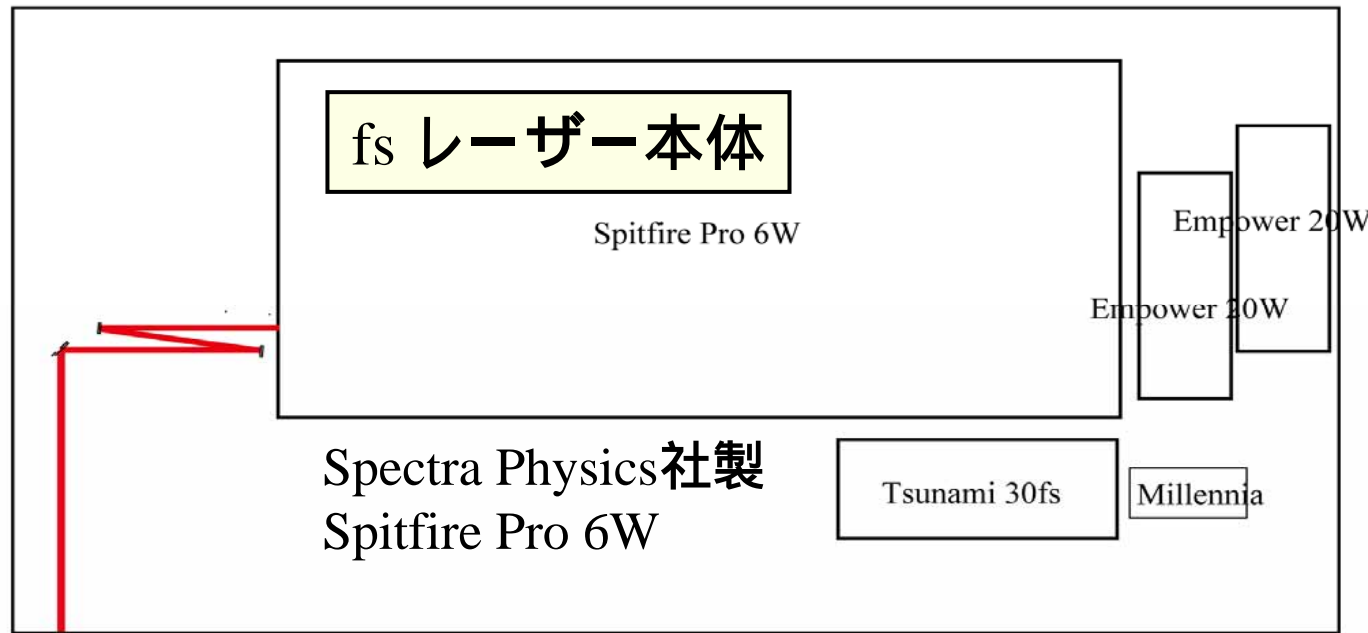
サブテラワット
パルスレーザーの
非線形波長変換

利用光量が1,000倍へ

発振波長：800 nm
パルス幅：40 fs以下
エネルギー：6 mJ
繰り返し周波数：1 kHz

59th高調波 (13.5 nm)
の発生を確認

今後はCSMへ適用



高次高調波EUV光源システムの構成図

従来技術とその問題点

既に実用化されているCD測長機は、走査電子顕微鏡 (SEM) による評価があるが、

高加速電子による汚れ (コンタミ) が発生

調整が複雑で測定時間が長い

等の問題があり、EUVマスクでは実効的なサイズ評価や全面評価が難しかった。(Shadowingの影響等)

新技術の特徴・従来技術との比較

- 従来技術では電子線による測定であったが、新技術ではEUVでの実効的なCD評価が可能。
- 露光機と同等なマスクへの入射角での評価が可能であり、露光せずにマスクのCDが評価できる
- CD評価手法を開発し、6025基板全面での測定再現性を0.3 nm (3σ)まで向上できた。
- 複雑な調整無しに簡便かつ高速に欠陥やCD評価ができる。

想定される用途

- 極端紫外線 (EUV) リソグラフィ用マスクのCD評価ならびに欠陥検査

想定される業界

- マッチングを想定する業界
半導体検査装置開発メーカー、
半導体装置製造メーカー、
X線非破壊検査装置メーカー、
X線分析計測メーカー
- 利用者・対象
主な用途はEUVリソグラフィー用マスク検査
装置

実用化に向けた課題

- 現在、CD評価について再現性良く測定が可能のところまで開発済み。
- 高次高調波EUV光源の適用により、測定時間を大幅に短縮する
- 実用化に向けて、測定時間をミリ秒オーダーまで短縮できるように開発する。

企業への期待

- EUVマスク製造技術を持つ企業との共同研究を希望。
- 実際のプロセス中での評価など、製造過程への導入を試したい。
- また、EUVリソグラフィー関連技術を開発中の企業、EUV分野への展開を考えている企業には、本技術により実効的なEUV像への影響を評価することが有用と思われる。

本技術に関する知的財産権

- 発明の名称 : パタン幅測定装置
- 出願番号 : 特願2010-192518
- 出願人 : 兵庫県
- 発明者 : 原田哲男、木下博雄、
渡邊健夫

お問い合わせ先

兵庫県立大学 知的財産本部

知的財産コーディネーター 林谷 正雄

T E L 0 7 8 - 3 6 7 - 8 6 4 5

F A X 0 7 8 - 3 6 2 - 0 6 5 4

e - mail u_hyogo_07@pref.hyogo.lg.jp