Lasertec

マイクロ固体フォトニクス研究会
第７回 レーザー学会「小型集積レーザー(II)」専門委員会

半導体検査装置のための固体深紫外光源

2025/12/17

レーザーテック株式会社　三宅伸一郎

目次

レーザーテックについて
　会社概要
　製品群
　弊社の事業領域

マスクパターン検査装置
　検査光源への要求

検査装置の光源
　213nm光源
　193nm光源

レーザーテックについて

- 沿革

1960年　X線テレビの開発を行なう有限会社東京ITV研究所を設立・創業
1986年　日本自動制御株式会社からレーザーテック株式会社に社名変更
2008年 新横浜に研究開発センター兼本社社屋を建設、移転
2022年 新横浜で新研究開発拠点Lasertec Innovation Parkの物件取得

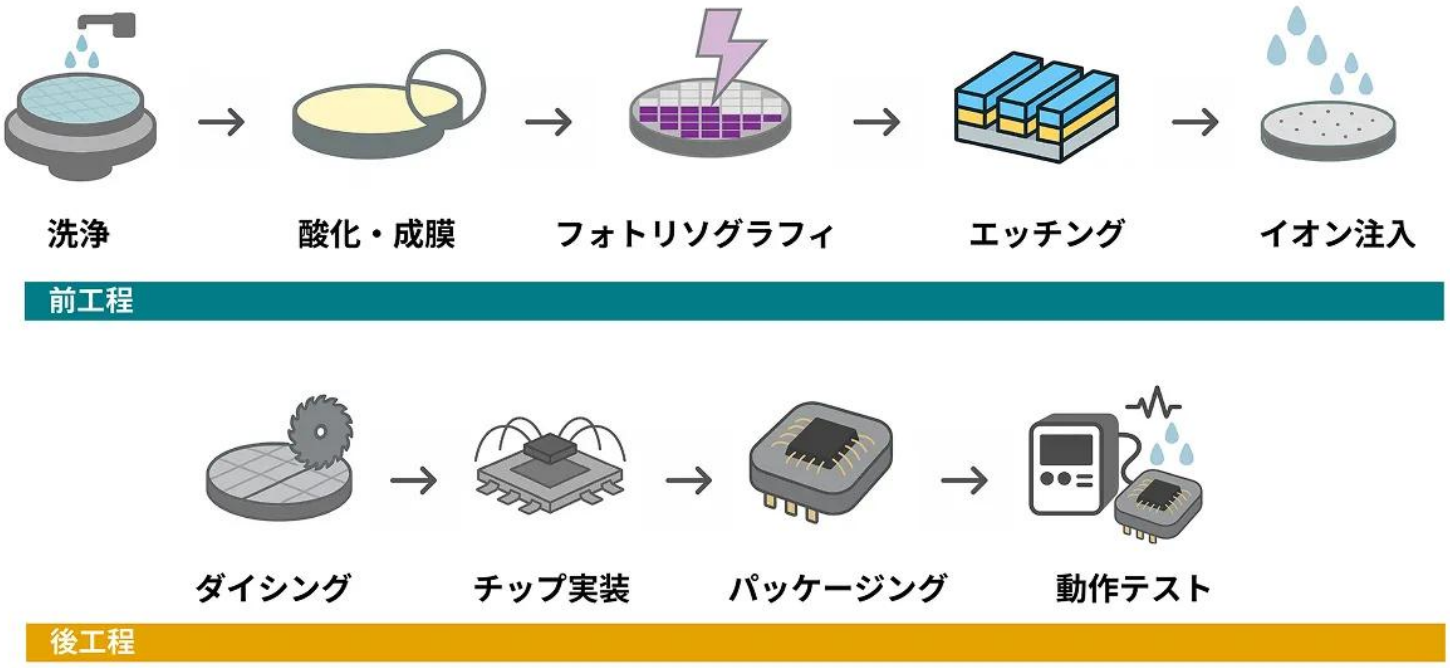
- 事業内容

下記製品の開発・製造・販売・サービス
1. 半導体関連装置
2. FPD関連装置
3. レーザー顕微鏡

- 従業員数

516名 (2025/6)

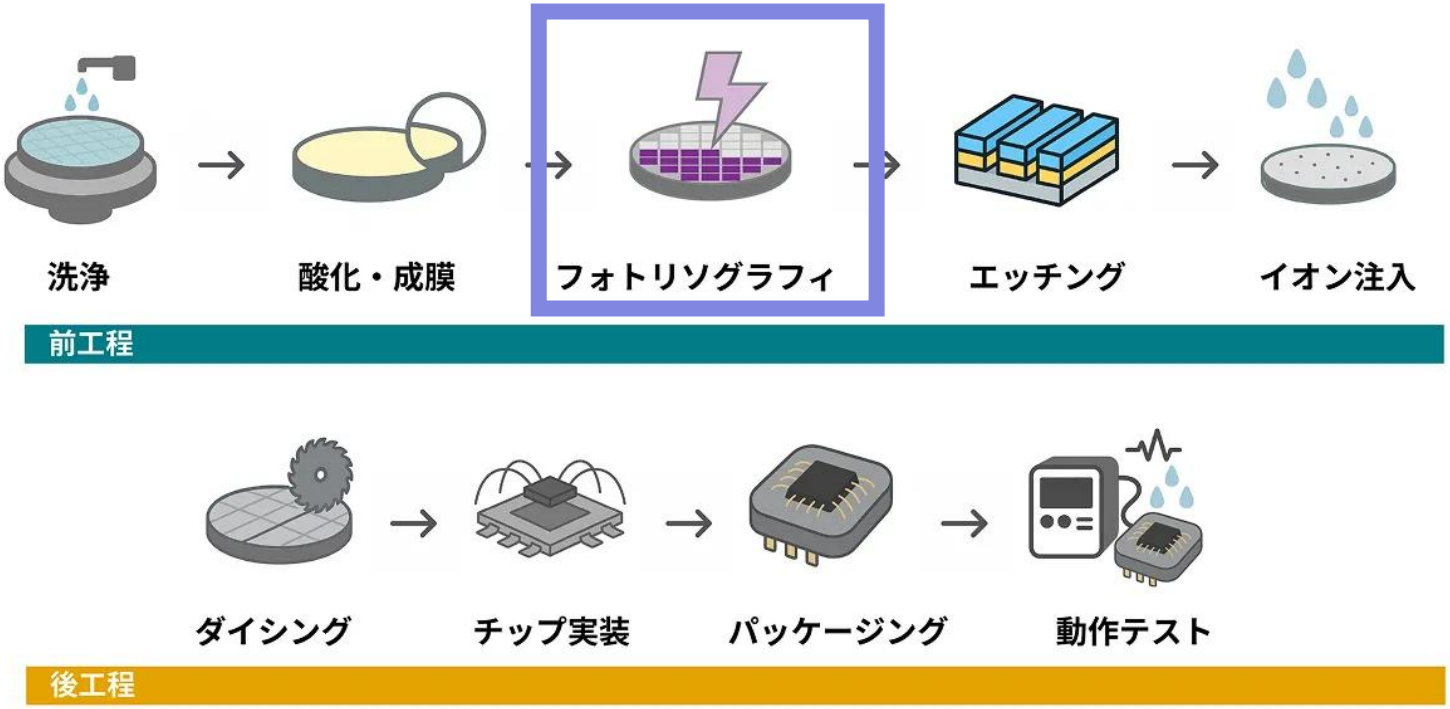
半導体製造プロセス



https://www.rapidus.inc/tech/te0001/

半導体製造プロセス

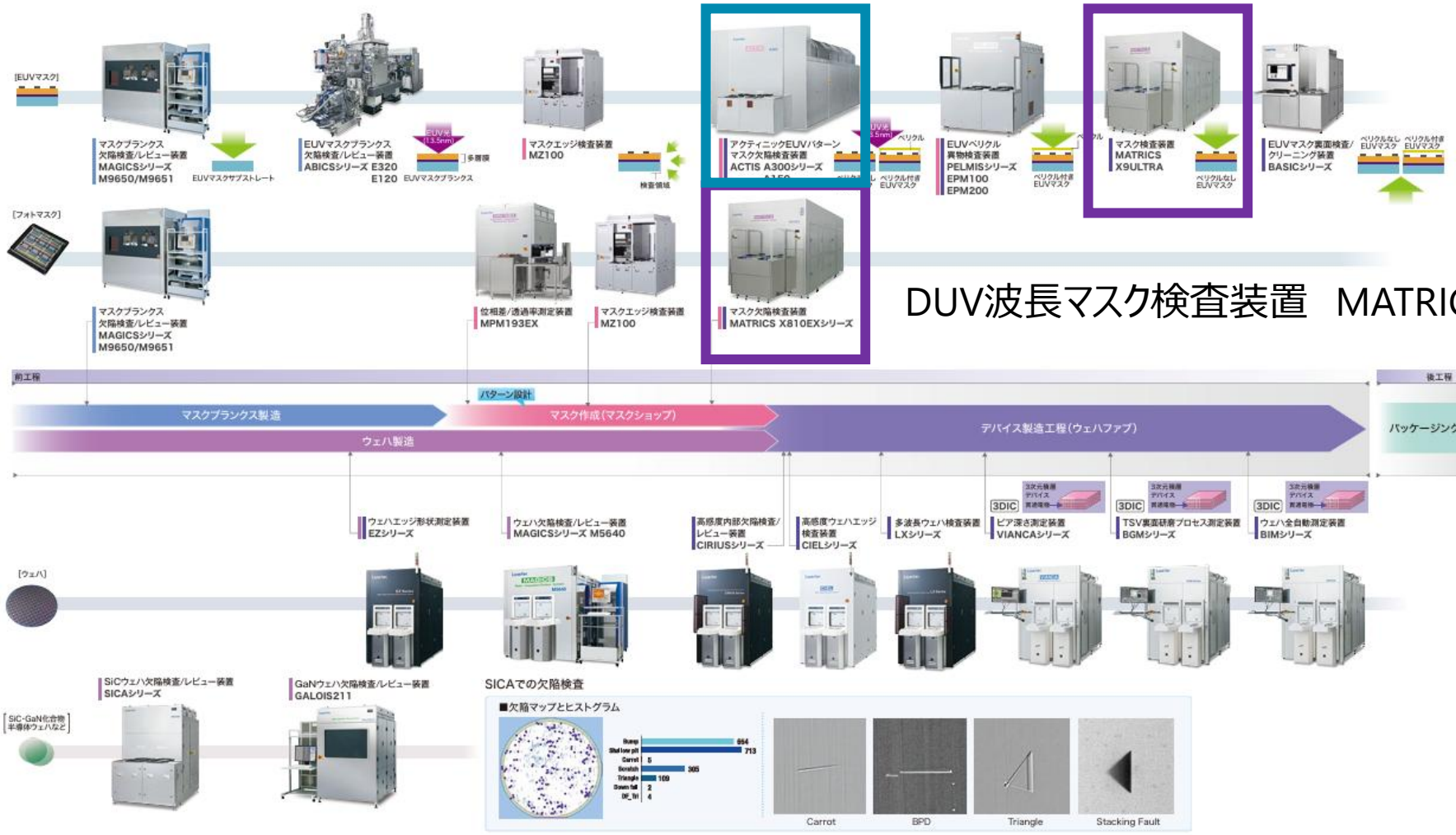
前工程のリソグラフィ工程の検査装置に強みをもつ



https://www.rapidus.inc/tech/te0001/

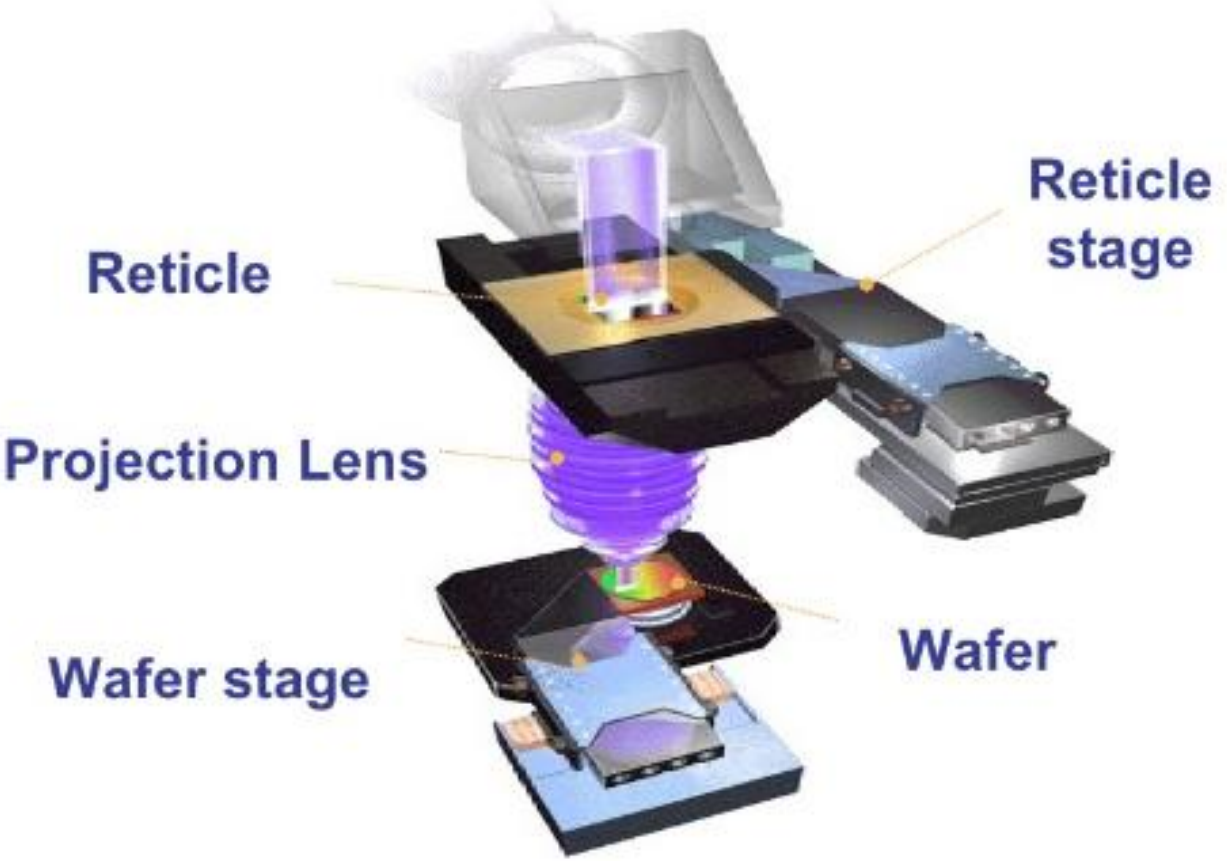
半導体製造プロセスにおける当社の装置

13.5nmマスク検査装置　ACTIS



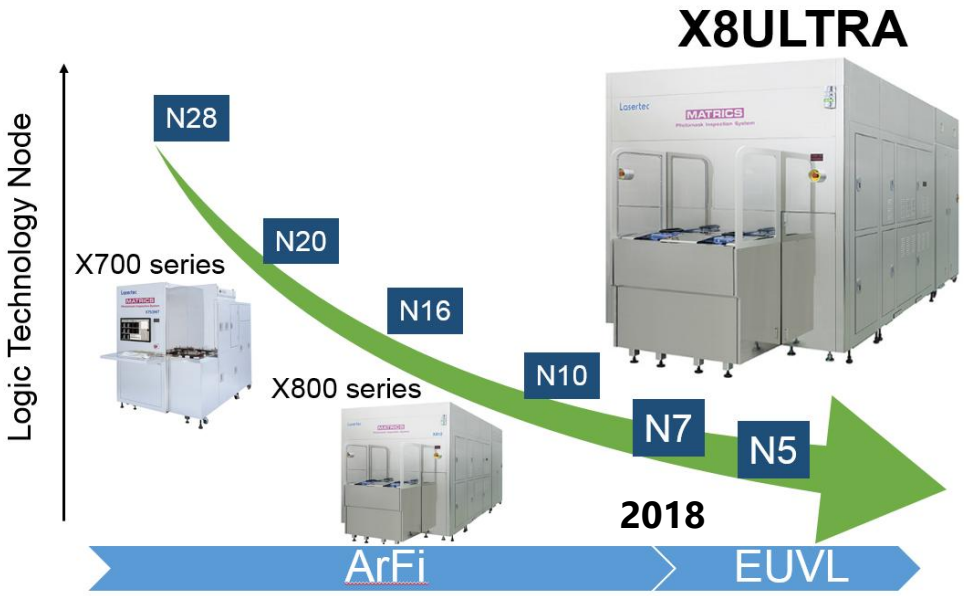
Mask

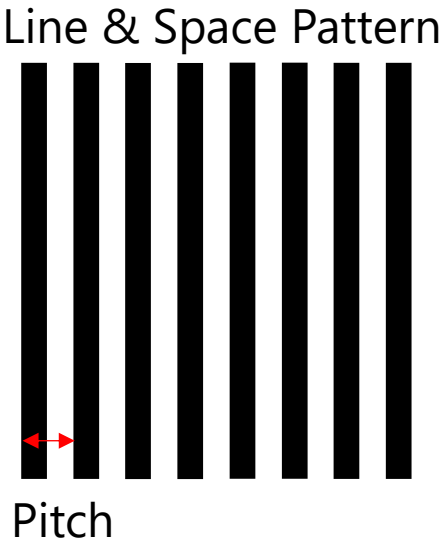
- Pattern on Mask : Pattern on Wafer = 4: 1



https://news.samsung.com/global/eight-major-steps-to-semiconductor-fabrication-part-4-drawing-structures-in-nano-scale

Technology Node





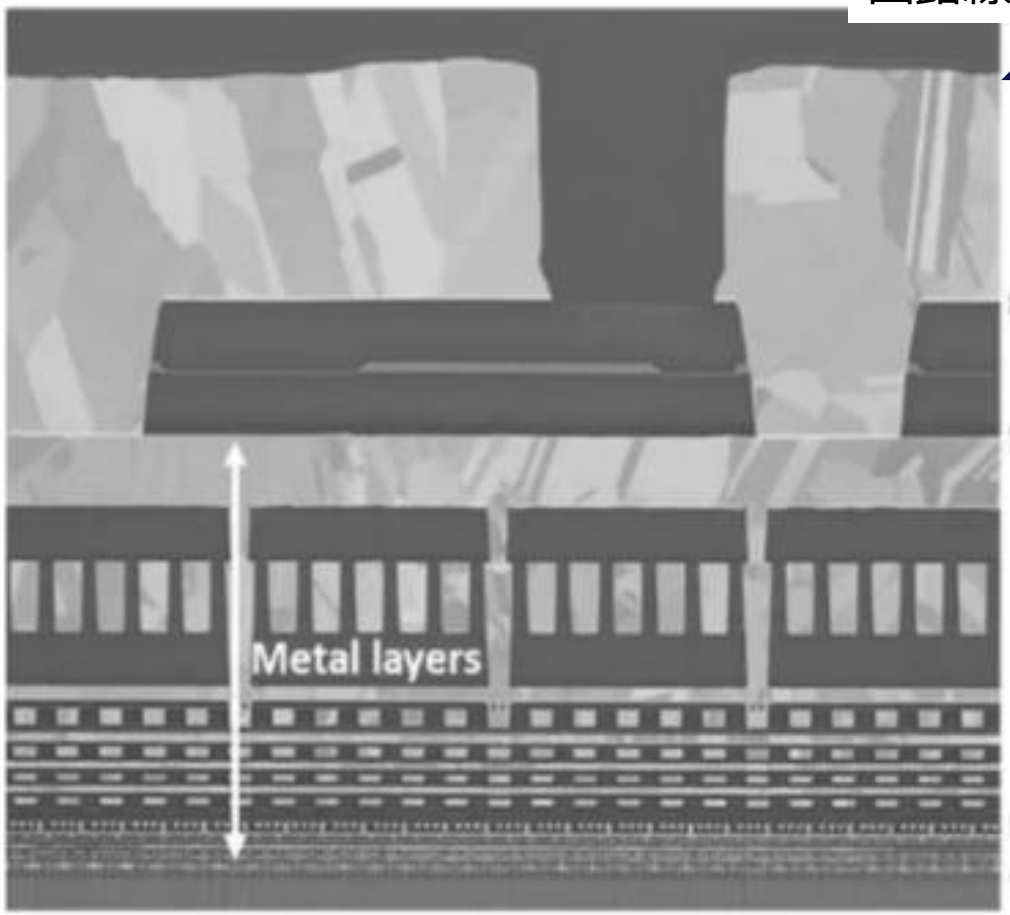
h.p= ½ x Pitch : 微細化のめやす

Node	h.p (nm) (Half Pitch = ½*Pitch)
N7	約80nm
N5	約60nm

マスクは4倍されるのでこの4倍のものが検査対象

Layer Structure

回路線幅は大きくなる

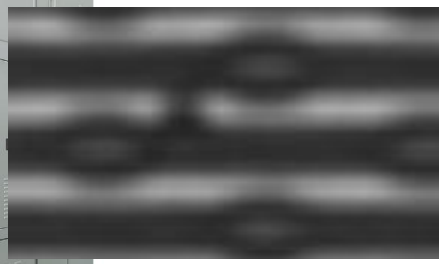


- EUV露光世代のプロセスでもその背後に多数の層がありそれらはDUV露光機で描画される
- DUVマスク検査装置は台数的に今後も増加

TSMC, IEDM 2024, Late News.

* Metal layer の第1層はEUV露光だと報告されている

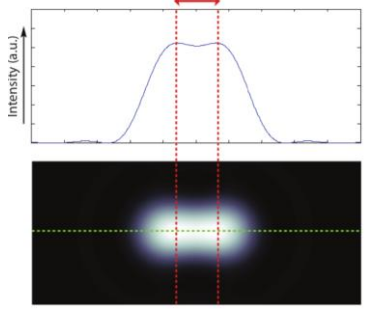
検査装置の光学系



Computers

Image sensor

$$d = \frac{\lambda}{2NA}$$



High NA Objective lens

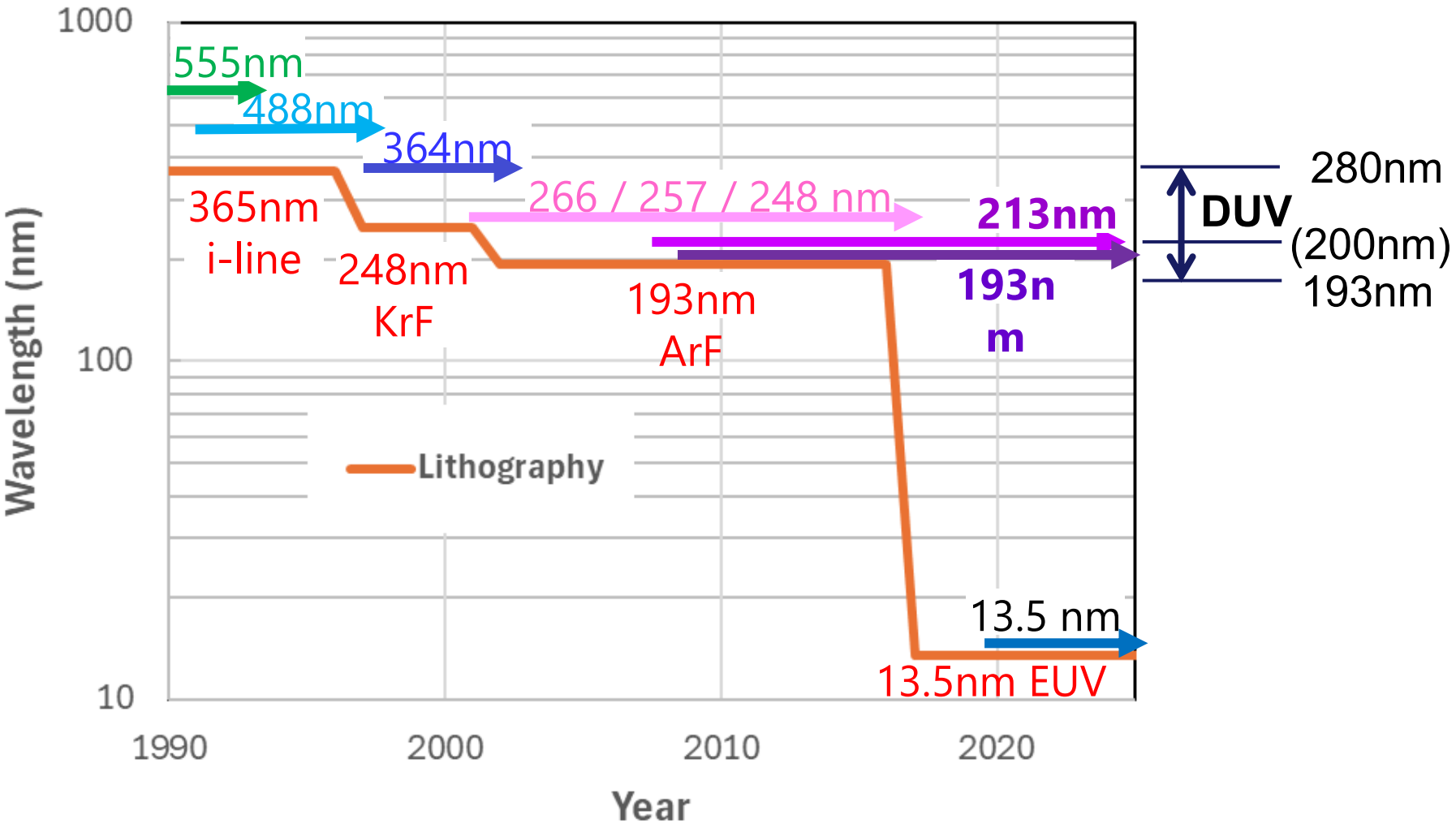
Mask

stage

Transmitted illumination just for optical mask

Illumination light source

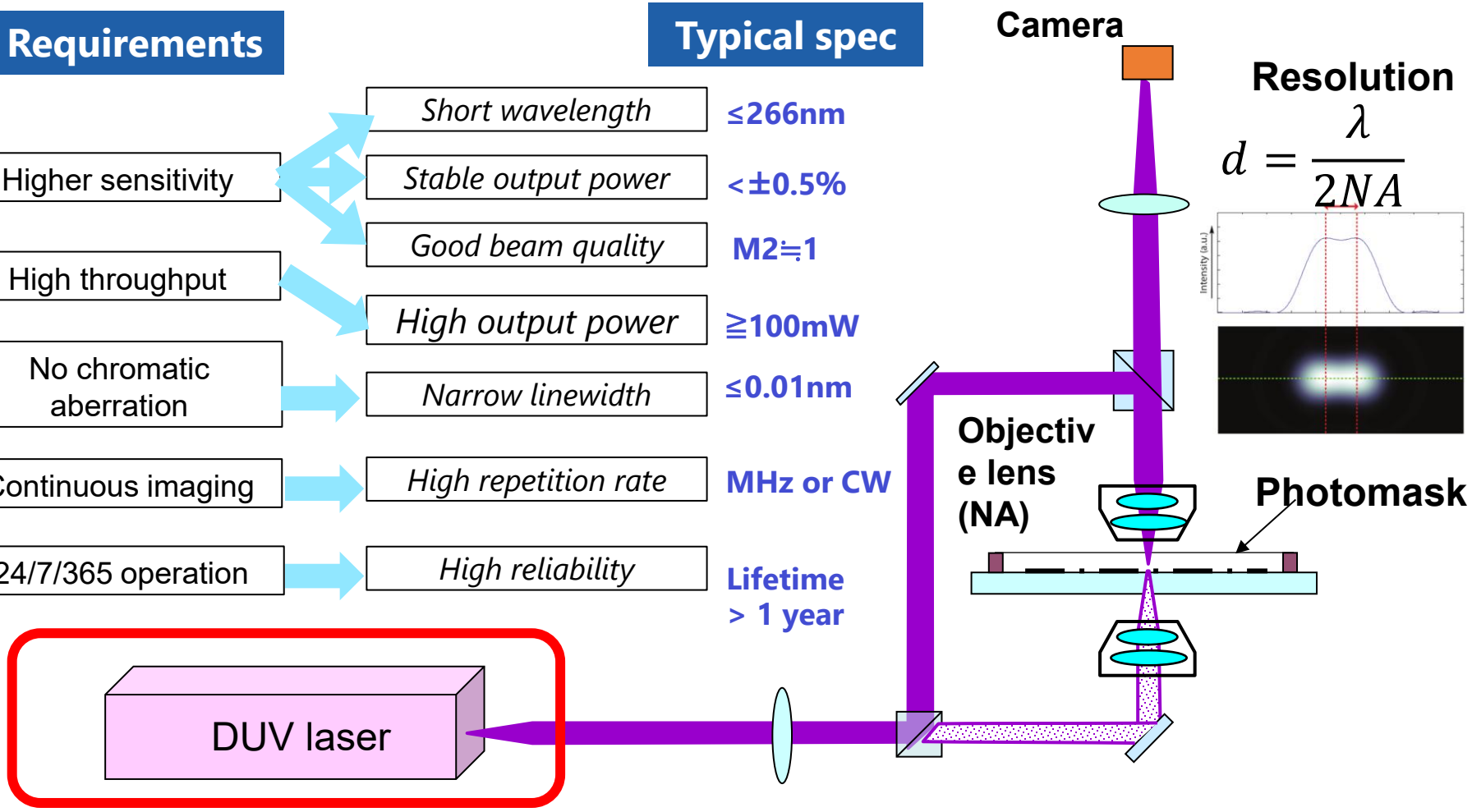
検査装置の波長



Advanced Mask Inspection and Metrology N. Yoshioka; T. Terasawa. AIP Conf. Proc. 683, 389–395 (2003)

検査光源への要求

Requirements		Typical spec
Higher sensitivity	*Short wavelength*	≤266nm
	Stable output power	<±0.5%
	Good beam quality	M2≒1
High throughput	*High output power*	≧100mW
No chromatic aberration	*Narrow linewidth*	≤0.01nm
Continuous imaging	*High repetition rate*	MHz or CW
24/7/365 operation	*High reliability*	Lifetime > 1 year

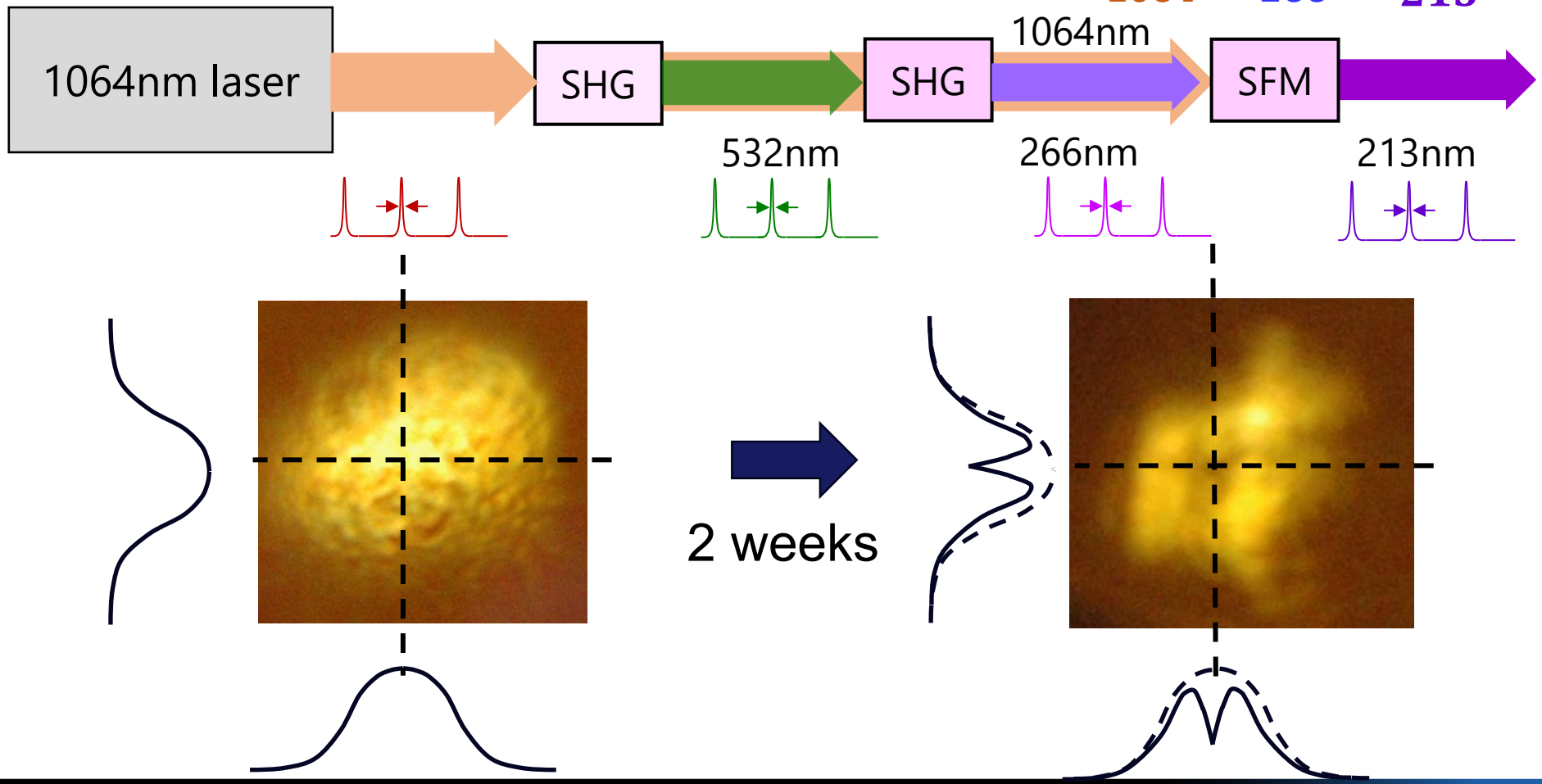


検査装置用固体QCW213nm光源

QCW 213nm光源

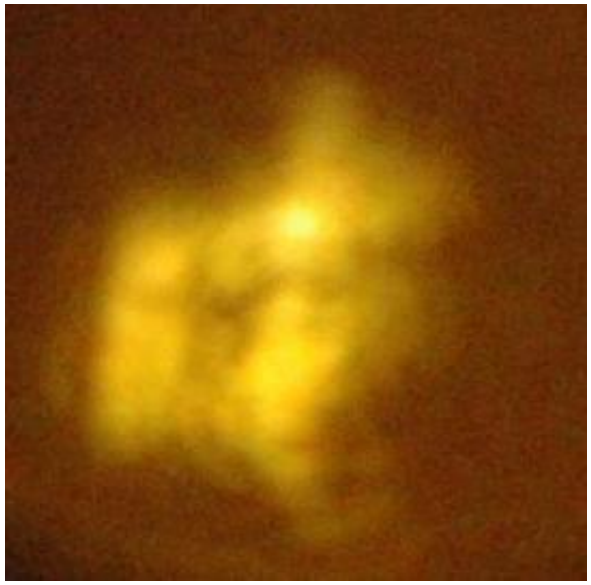
ピコ秒レーザーの5HGで213nmを発生

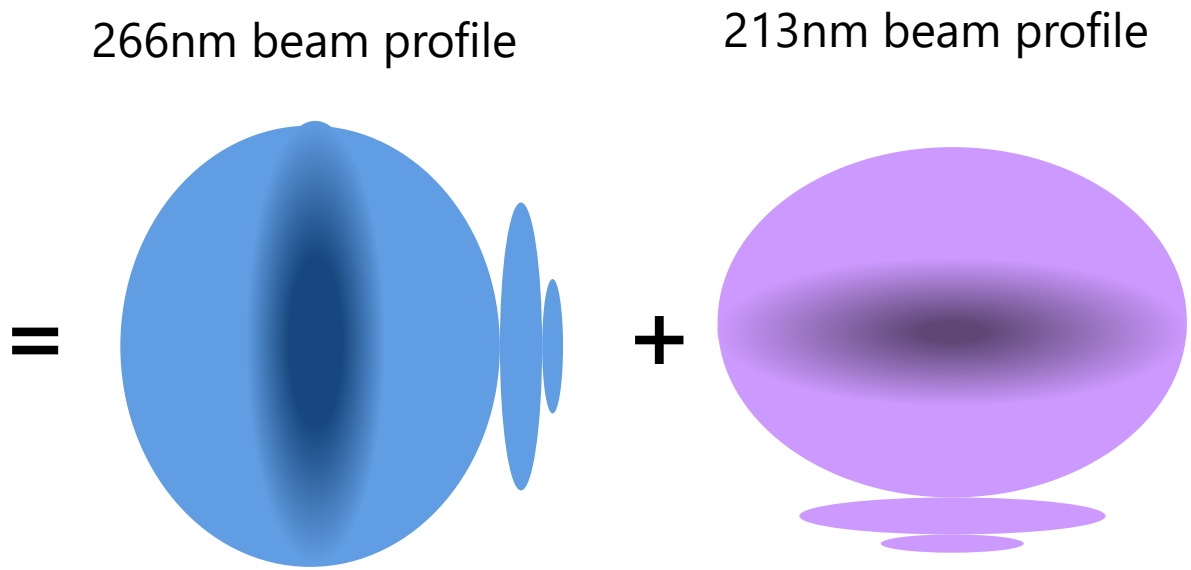
$$\frac{1}{1064} + \frac{1}{266} = \frac{1}{213}$$

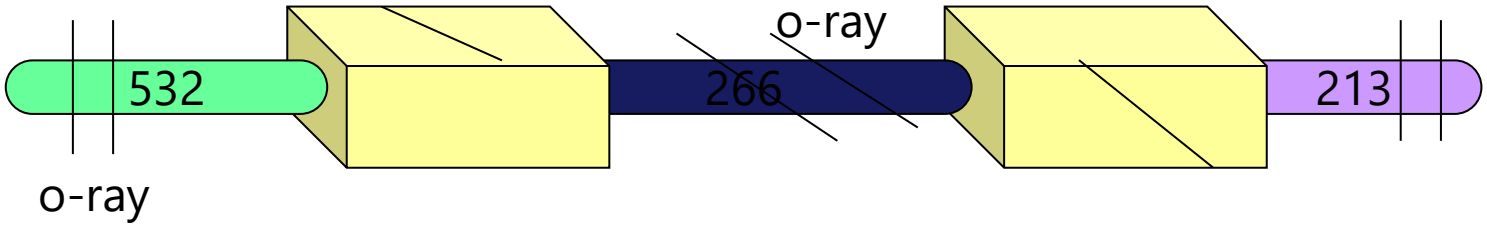


結晶の劣化

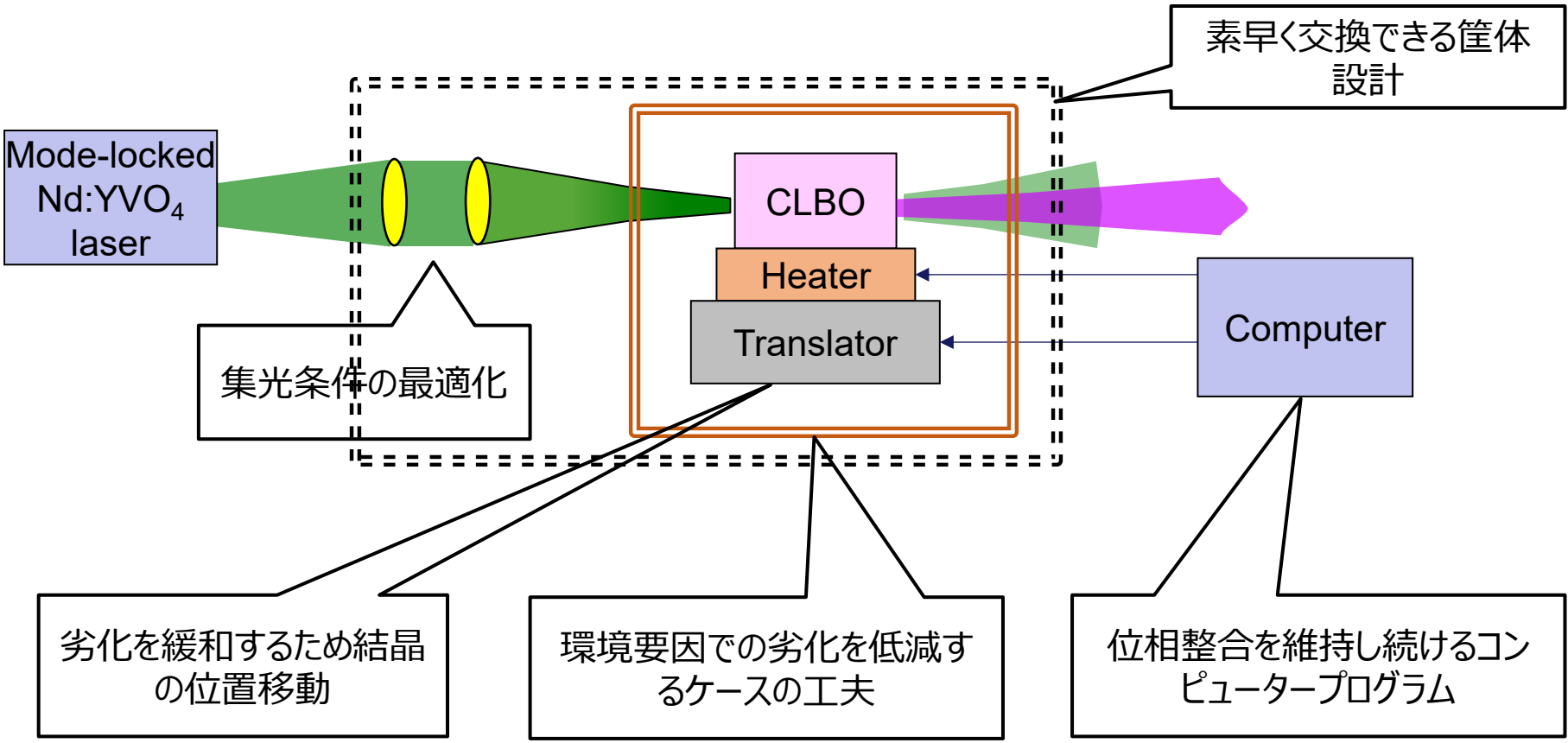
ビームの中心はUVパワーが強いので結晶の屈折率変化を引き起こす



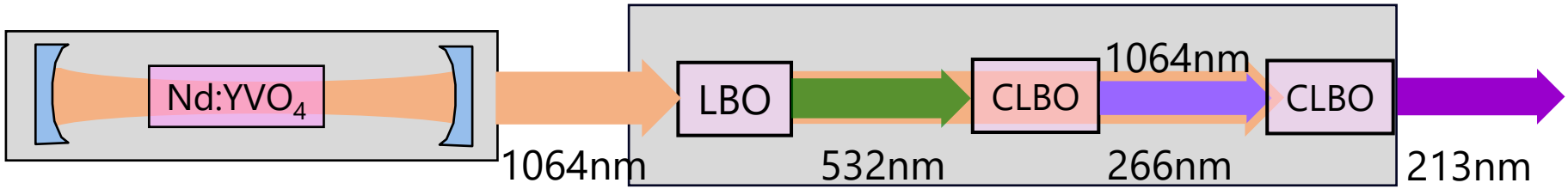




Engineering for 24/7/365 operation

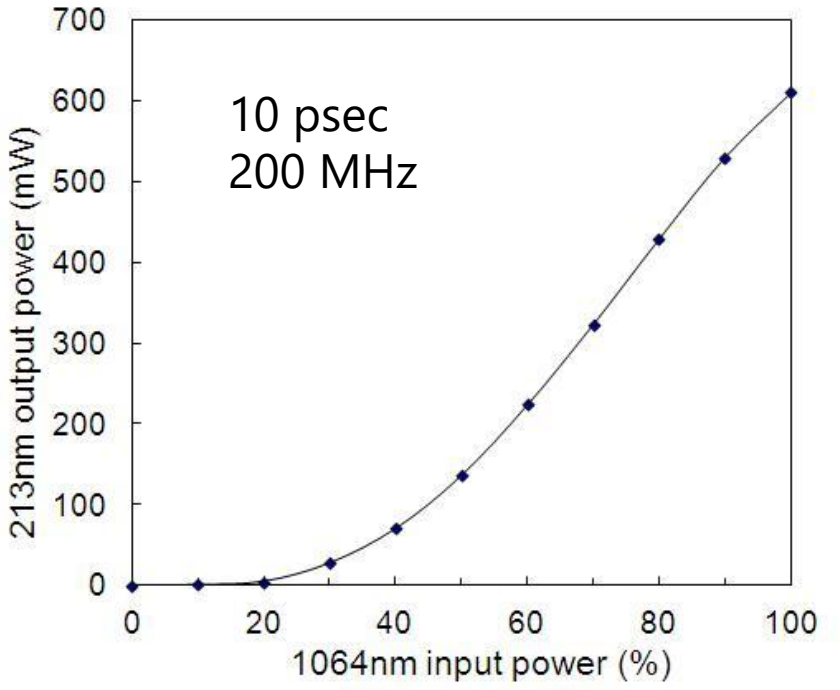


213nm マスク検査装置



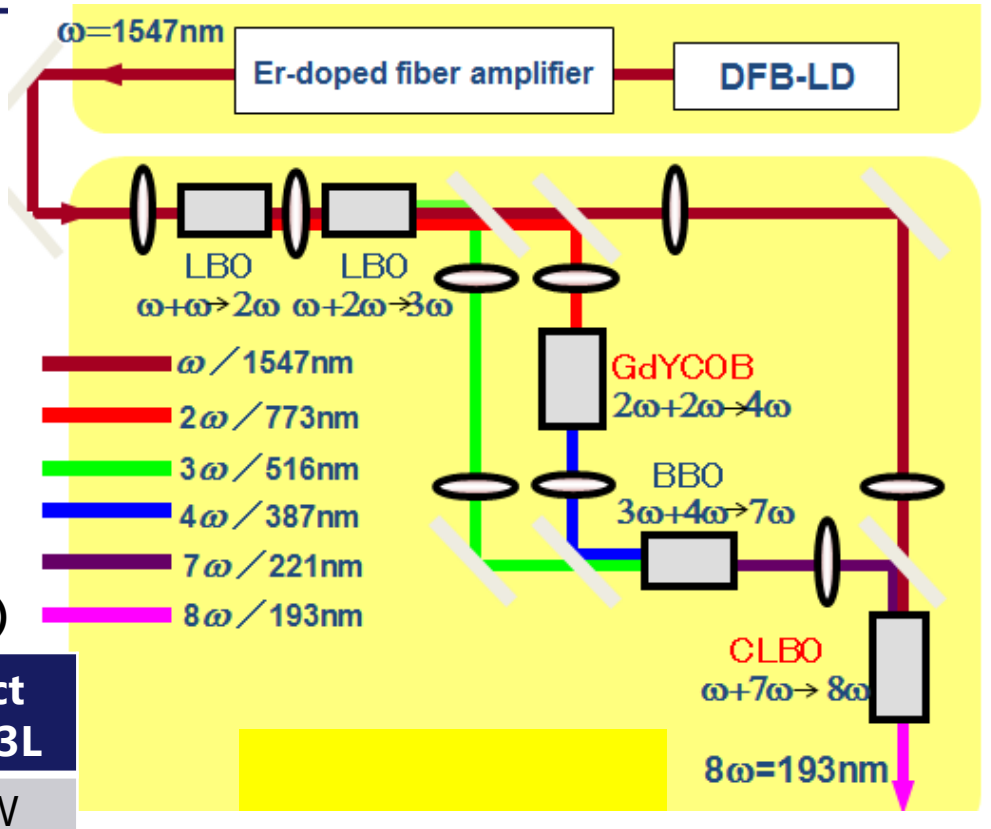
モードロックピコ秒レーザー

213nm generation unit



検査装置用固体193nm光源

Nikon 193nm光源



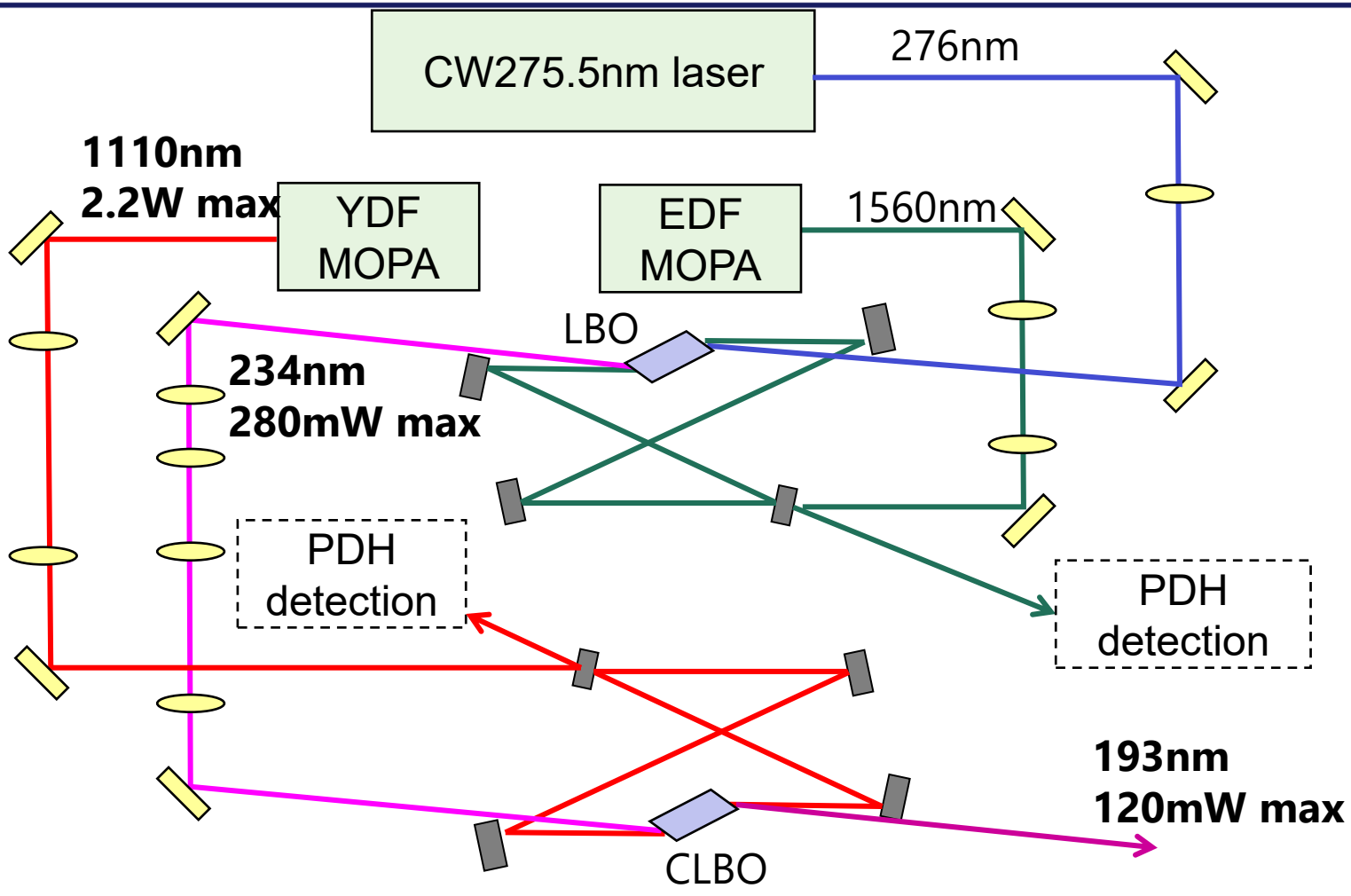
（生産終了）

	Published in 2003	Product NSL-193L
Average power	140mW	100mW
Repetition frequency	200kHz	400kHz
Spectral width	-	<8pm
Beam quality (M2)	-	<2.5

https://www.ave.nikon.co.jp/cp/products/laser/

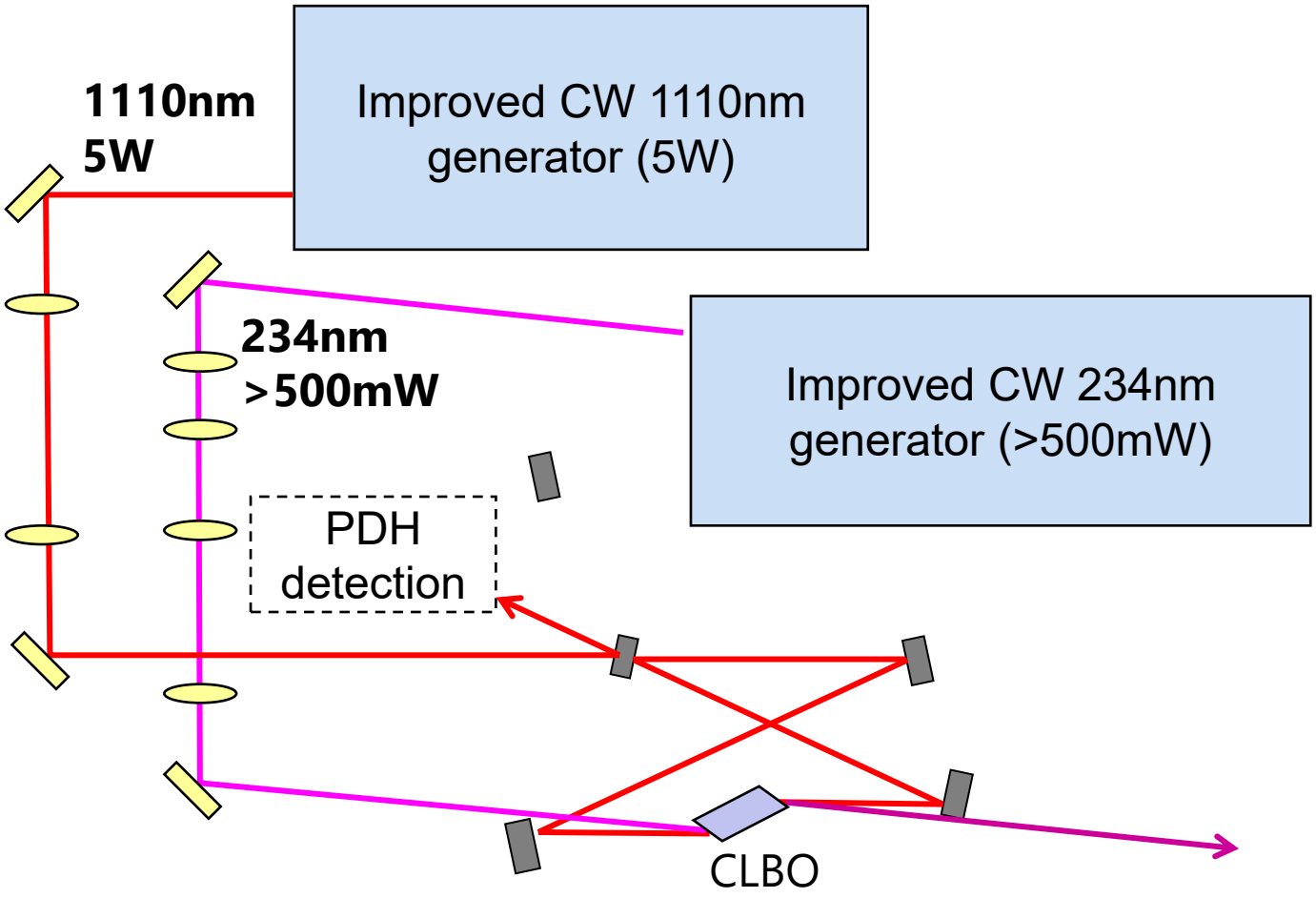
H. Kawai et al, ” in Conf. Lasers and Electro-Opt., CTuT4 (2003)

Prototyped CW 193nm laser (2015)



Jun Sakuma, et al., Opt. Lett. 40, 5590-5593 (2015)

CW 193nm laser for products (2020～)



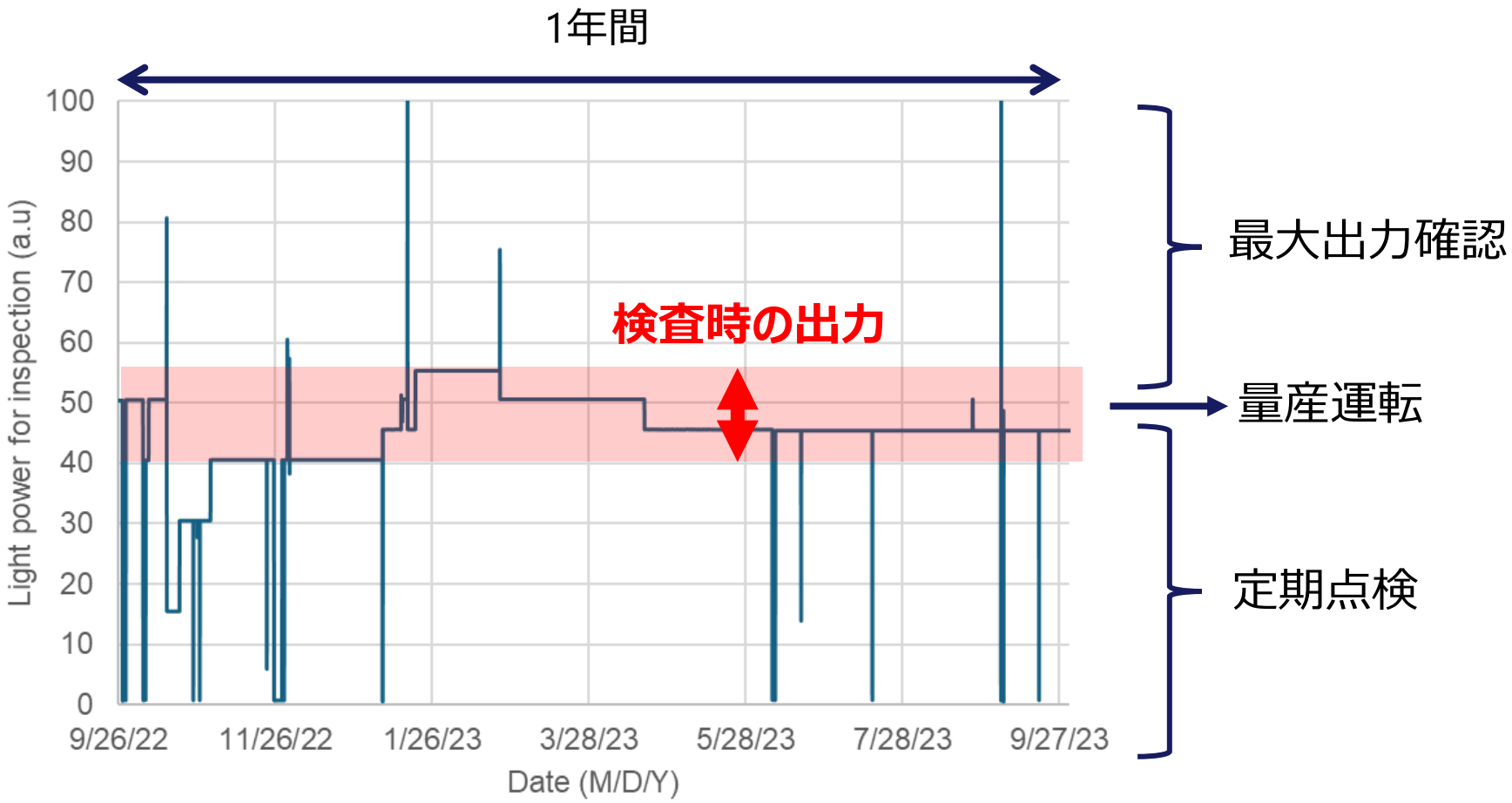
マスク検査装置MATRICS X9ULTRAシリーズ

特徴

- テクノロジーノード3nm以降のペリクル非装着EUVマスクに特化したマスク検査システム
- 新たに自社開発したハイパワー193nmレーザーおよび高NA対物レンズの搭載により、従来機よりもさらに微小異物検出性能を向上

2022年04月26日

1年間以上の連続稼働

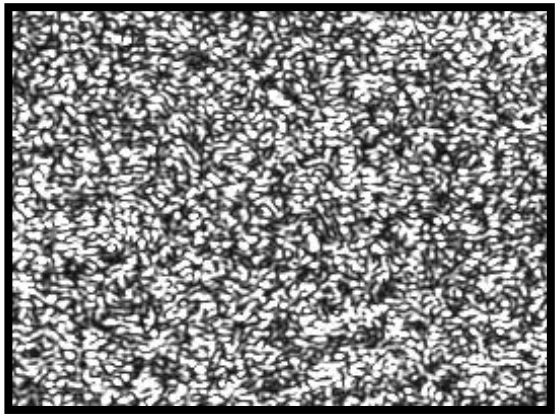

1年間
Light power for inspection (a.u)
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
9/26/22
11/26/22
1/26/23
3/28/23
5/28/23
7/28/23
9/27/23
Date (M/D/Y)
検査時の出力
最大出力確認
量産運転
定期点検

CW193nm光源の開発課題

1. 検査に必要な193nm光の高出力化（≧200mW）
2. 長期間（≧1年）以上、連続稼働できる長寿命化
3. 高感度検査を達成するための出力安定化
4. 高コヒーレンス起因のスペックルノイズ抑制

画像ノイズへ影響する要因

- 電気的ノイズ
  - ショットノイズ　→　光量を上げることにより減少
  - 暗電流ノイズ
  - 読み出しノイズ　等
- スペックルノイズ
  - レーザーの過干渉性による明暗
- 照明光強度
  - レーザー安定性
- 撮影条件
  - 機械的安定性

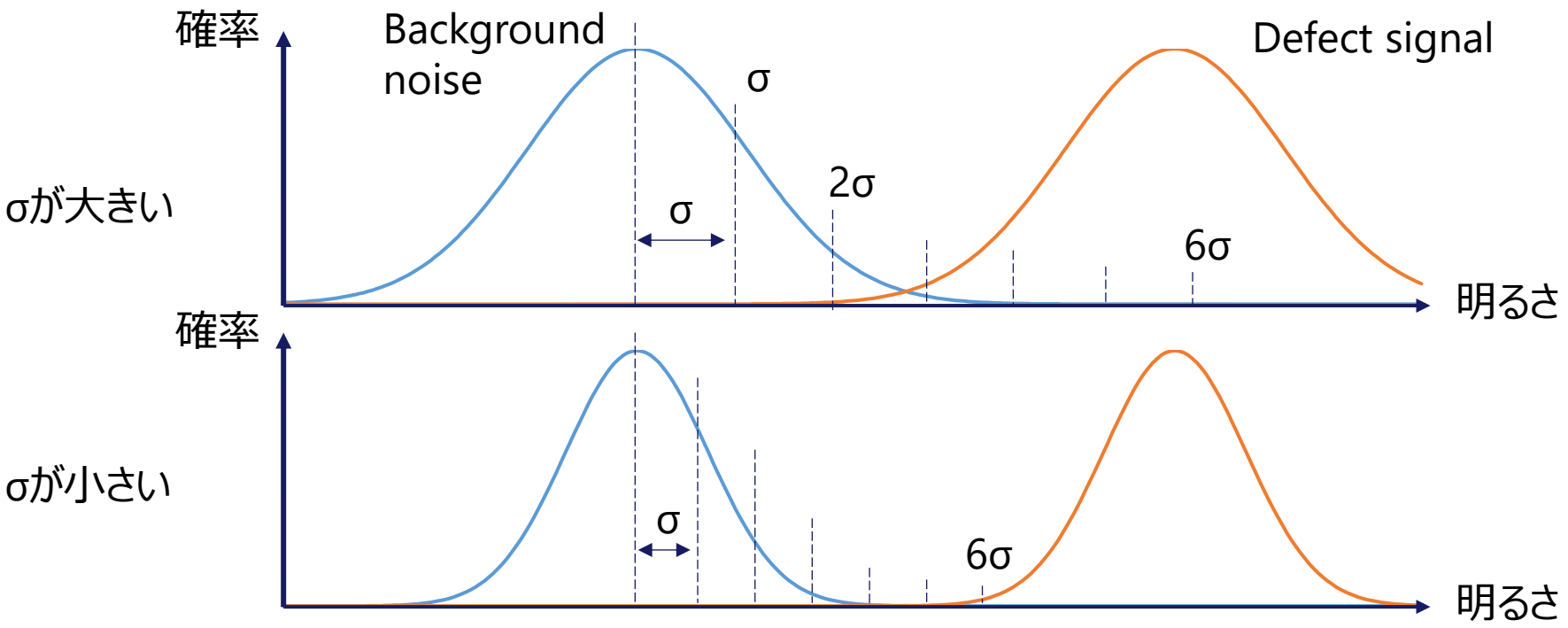


画像ノイズはこれらの積み上げ

$$\text{画像ノイズ} = \sqrt{\sigma_{\text{電気}}{}^2 + \sigma_{\text{スペックル}}{}^2 + \sigma_{\text{照明強度}}{}^2 + \sigma_{\text{機械外乱}}{}^2}$$

*正規分布かつ独立の場合

画像ノイズが検査結果に与える影響



検査画像のpixel数　：10^{12}のオーダー
　→　ノイズの正規分布を仮定すると6σが有意に出現　　（片側６σの確率：$9.8*10^{-10}$）

検査は２画像の比較なので、差分画像のノイズは更に√2倍
　→　6× σ × √2

スペックルコントラスト

σと平均輝度の比（スペックルコントラスト）

$$\text{Speckle Contrast} = \frac{\sigma}{\langle I \rangle} = \sqrt{\underbrace{\frac{1}{A_{beam} \cdot \Omega_{divergence}}}_{\text{spatial}} + \underbrace{\frac{\lambda^2}{c \cdot BW} \cdot \frac{1}{N}}_{\text{temporal}}}$$

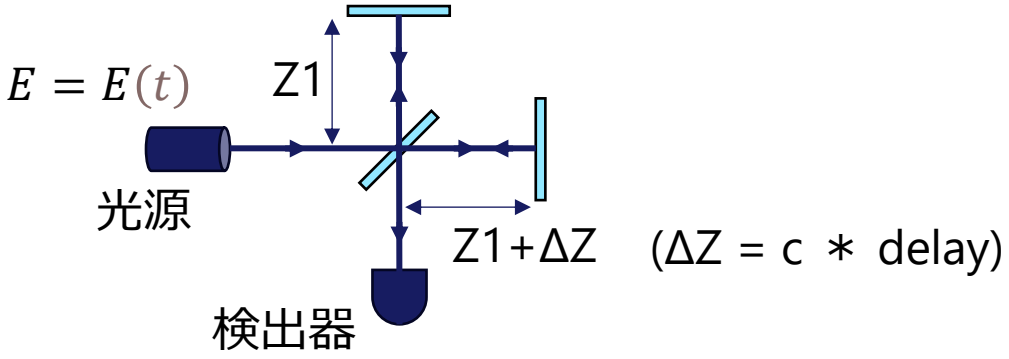
空間的な寄与は顕微鏡の観察性能に直結　：　安易に変更できない

スペクトル幅の拡大は色収差を拡大　：　安易に変更できない

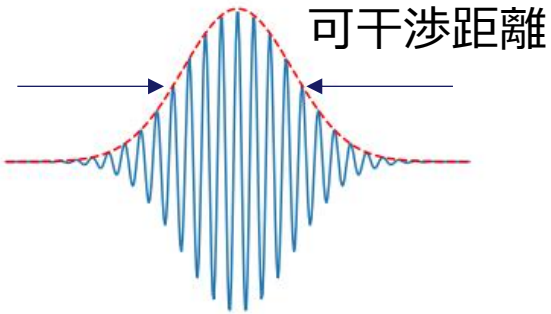
単純な時間積算の増加　：　検査時間は増やせない

可干渉距離

- 可干渉距離：干渉計の光路差を変えたときの干渉する範囲



(ΔZ = c ＊ delay)



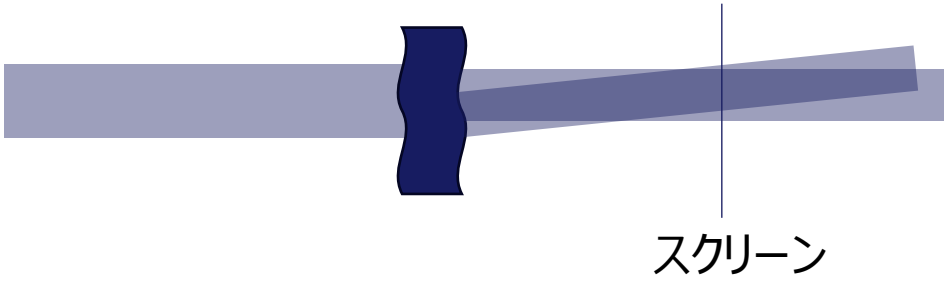
Item	ピコ秒213nm	CW193nm
スペクトル幅	>GHz	<MHz
可干渉距離	～ mm	> m

- CWレーザーは可干渉距離が長い → 干渉による悪影響（スペックルノイズ）が顕著

検査性能を犠牲にしない範囲でスペクトル幅を広げスペックルノイズを抑制

スペックルを微視的に考察

スペックル干渉のある一つのモード切り出して2ビーム干渉として考える



$$I(x) = I_1 + I_2 + 2\langle E_1 E_2^* \rangle \cos\delta(x)$$

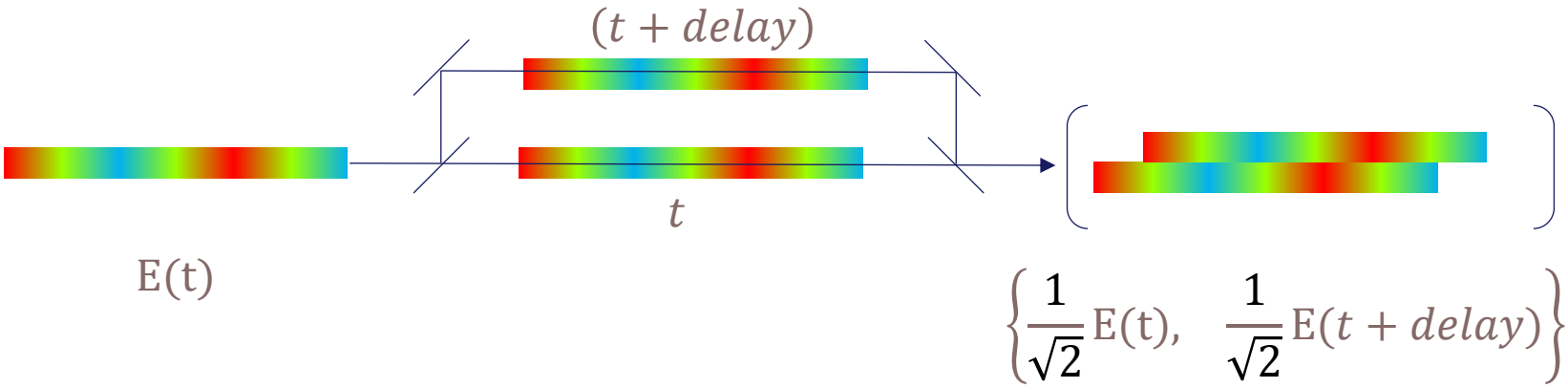
- I_1, I_2：相互にインコヒーレントなら独立
- $2\langle E_1 E_2^* \rangle$：$I_1$ とI_2が相互にインコヒーレントなら0

- I_1: I_2が50：50なら相互にコヒーレントの場合はIは0~2、インコヒーレントの場合は 1

しかし、スペックルでは２ビームの間のdelayを実験者が大きくしたり、偏光を変えたりできない

可干渉距離の干渉のコントラストへの影響

コヒーレント長を超えた光学遅延を与えて重ね合わせる



ある瞬間で互いにインコヒーレントな光で同時に照明することで

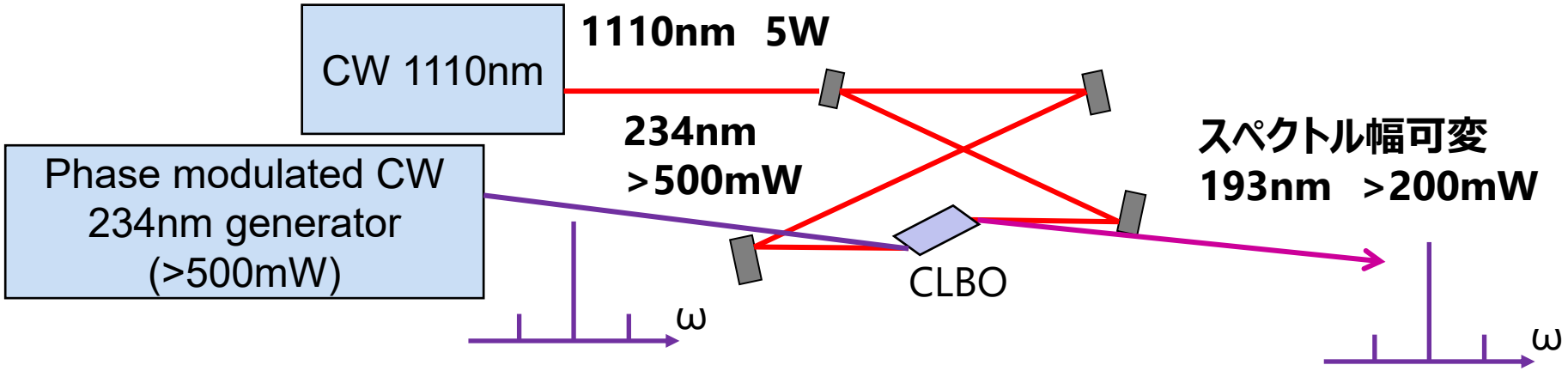
$2\langle E_1 E_2^{*}\rangle = 0$

かつ

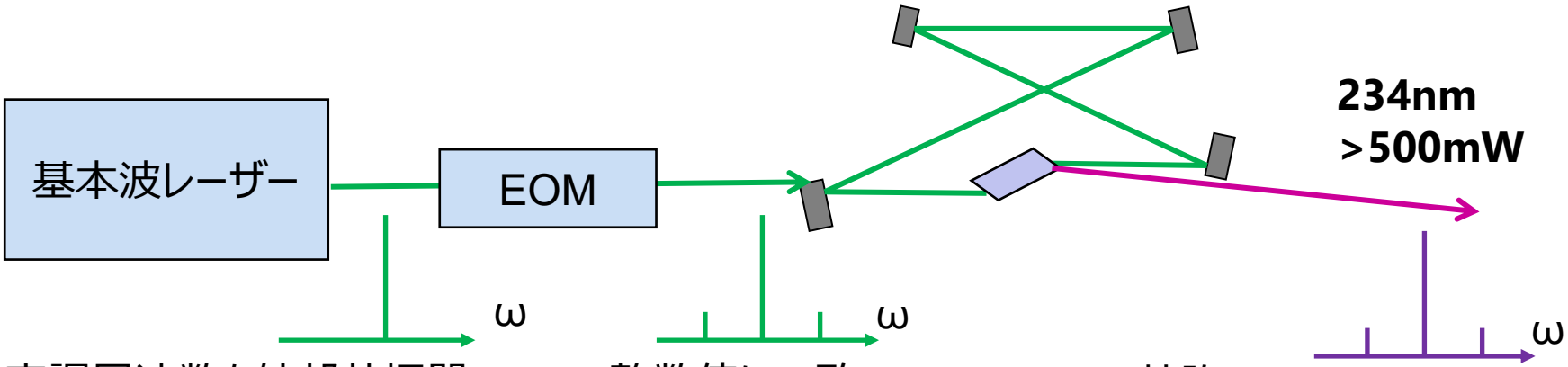
I_1, I_2を独立にする

EOM前置外部共振器

位相変調することでCW光のスペクトル幅を広げる



EOM前置外部共振器により234nmと193nmにサイドバンドを付与



変調周波数を外部共振器のFSRの整数倍に一致

[特許] JP7192156B2

スペクトル幅拡大と光学遅延による検査結果の変化

EOM前置外部共振器と光学遅延を組み合わせたコヒーレンス低減機能を開発

コヒーレンス低減機能なし

σが約1/3低減

コヒーレンス低減機能有効

まとめ

自社開発した高繰り返し213nm光源そしてCW193nm光源はマスクパターン装置の検査光源としてDUVおよびEUVリソグラフィの量産を維持するために国内外で稼働中

DUVでのマスク検査装置は193nmが最先端でCW193nm光源は現在も改良が継続している

Lasertec