

# 新型・先端半導体向けEUV露光装置の提案 (シンプル、低消費電力、安価)

量子波光学顕微鏡ユニット 教授 新竹 積



OIST

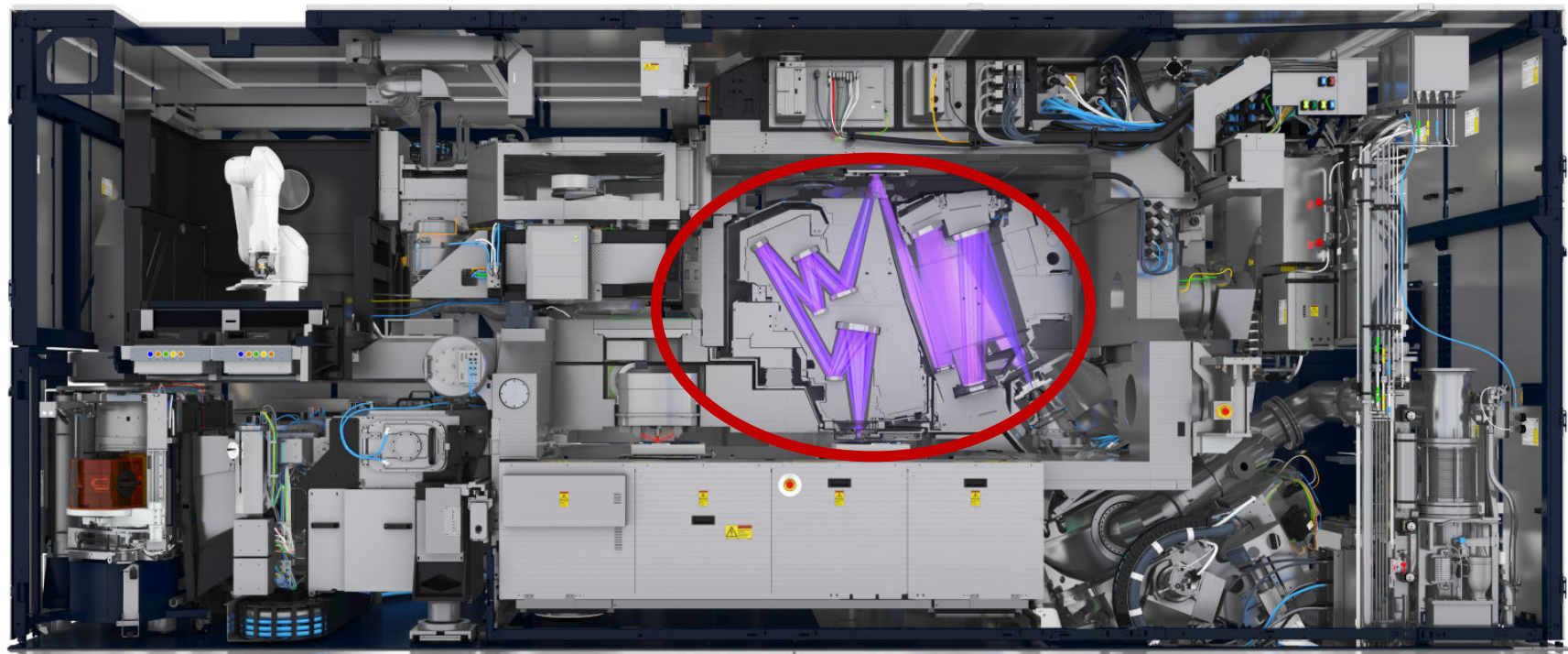
OKINAWA INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY GRADUATE UNIVERSITY

沖縄科学技術大学院大学

# 従来技術とその問題点

消費電力は 約 1,000 kW

価格は 200 億円超



# 床下に隠されたCO<sub>2</sub>ドライブ・レーザー

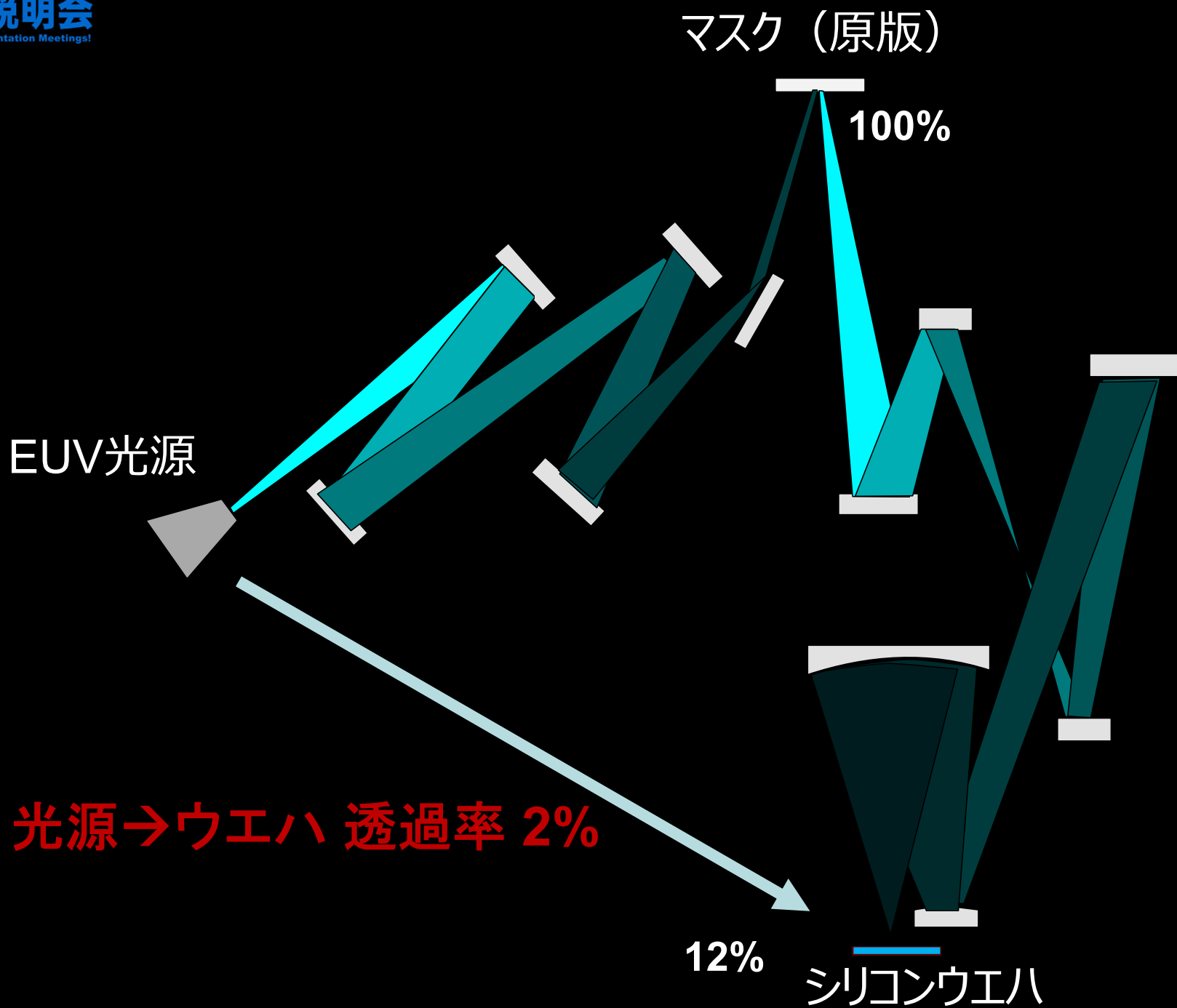


Source: Harry J. Levinson, "Extreme Ultraviolet Lithography", SPIE Press Monograph, PM326 (2020) , Page 21



Source: TRUMPF.com

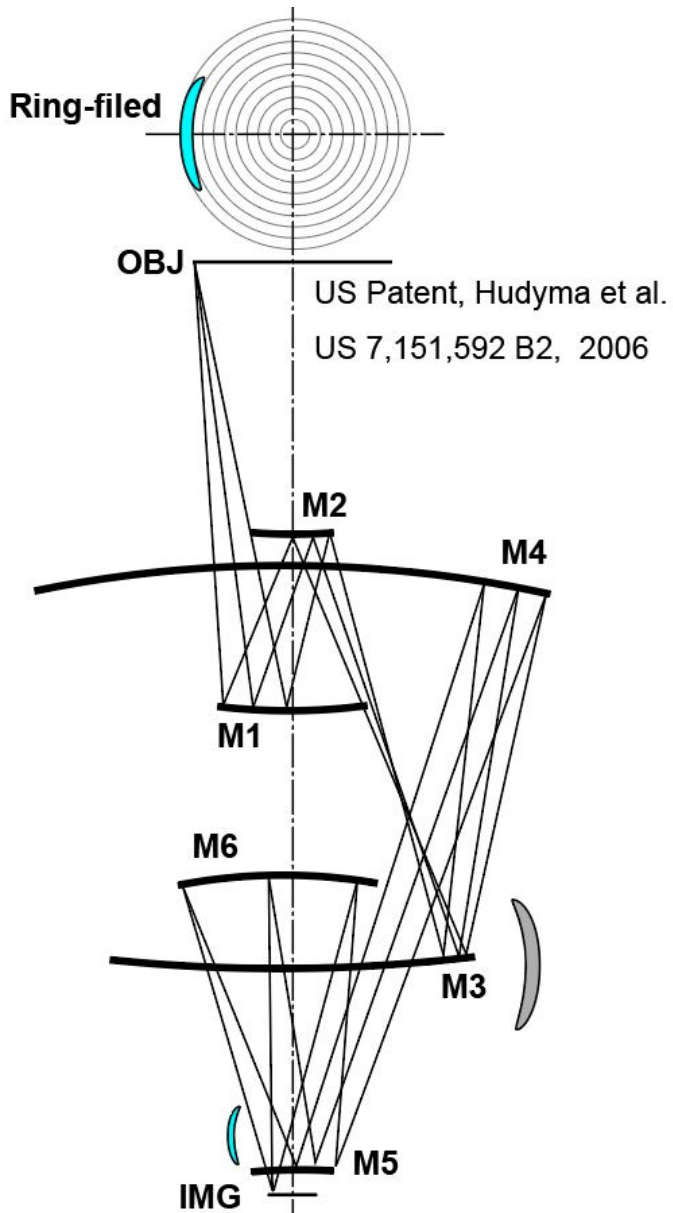
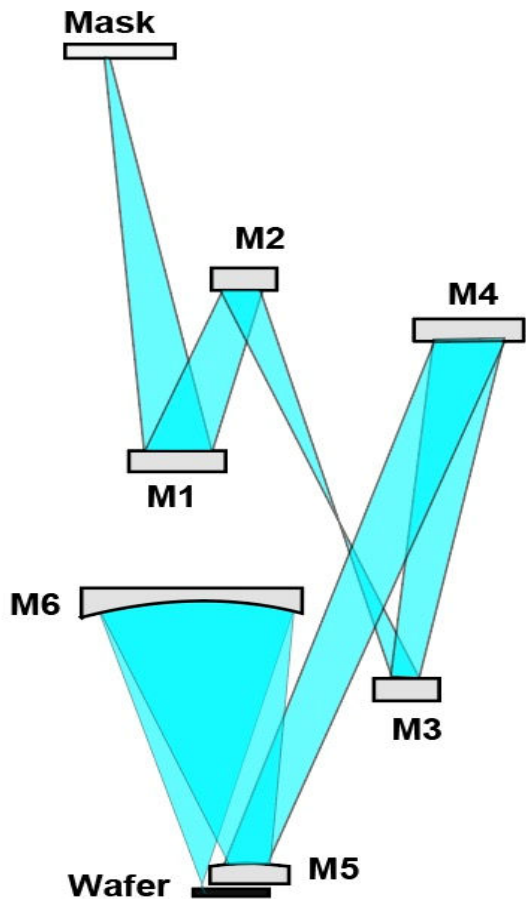
# 問題の 原因を探る



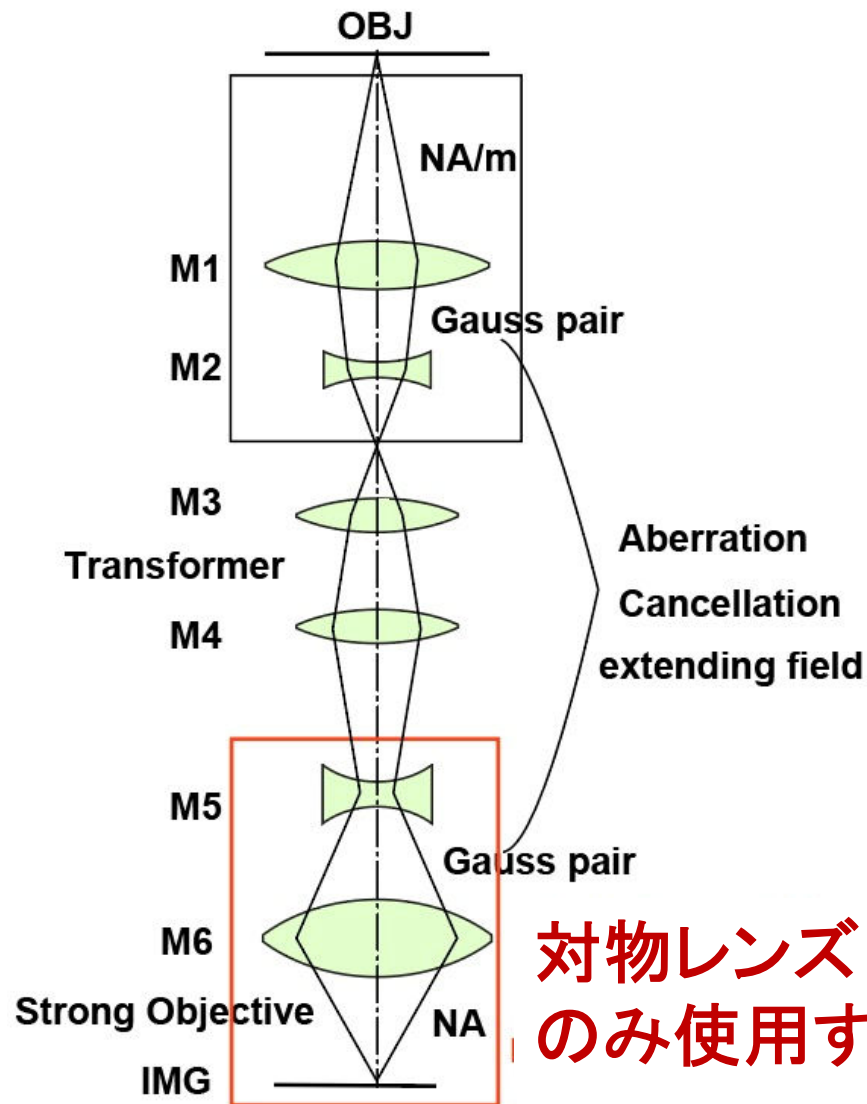


# すべては収差補正のためである

Six-mirror Projector



## ダブル・ガウス構成



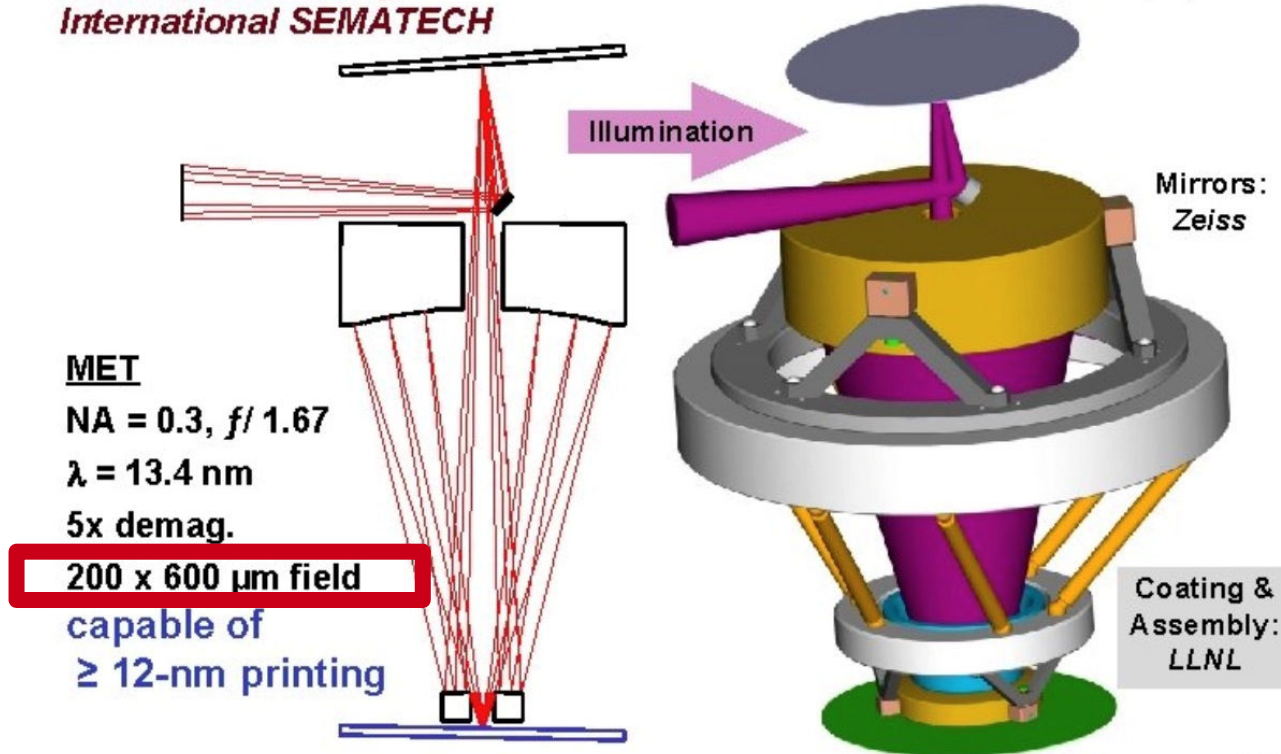
# 対物レンズのみによるパターンニング

The 0.3-NA Micro-Exposure Tool: high resolution



Work sponsored by  
International SEMATECH

Courtesy of J. Taylor, LLNL



Kenneth Goldberg, KAGoldberg@lbl.gov, SPIE 2005, 5900-16

The 0.3-NA Micro-Exposure Tool: high resolution Work sponsored by International



**2004年 実証試験**

P. Naulleau, et.al.

**素晴らしい性能！**

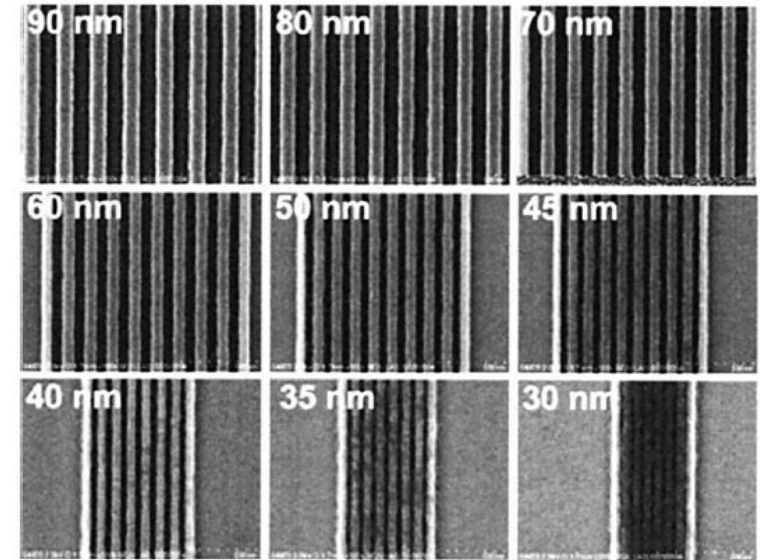


FIG. 6. Equal lines and spaces printed in 125-nm-thick layer of Rohm and Haas 1 K resist. The pupil fill was annular 0.3–0.7.

**しかし**

**露光フィールドが狭い(0.2 mm x 0.6 mm )ため露光装置には使えない  
皆そう思い込んだ！**

**そして、6枚ミラー構成がEUVの常識となった**

約 20 年後の今  
時間をかけてゆっくり見直すと

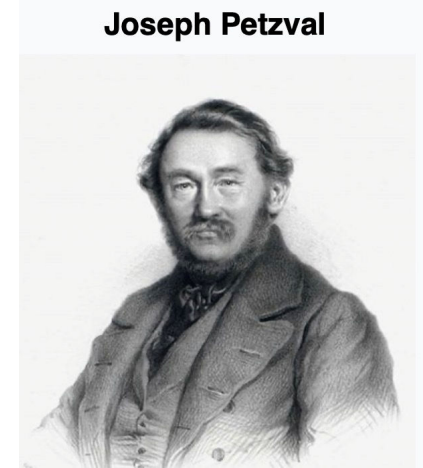
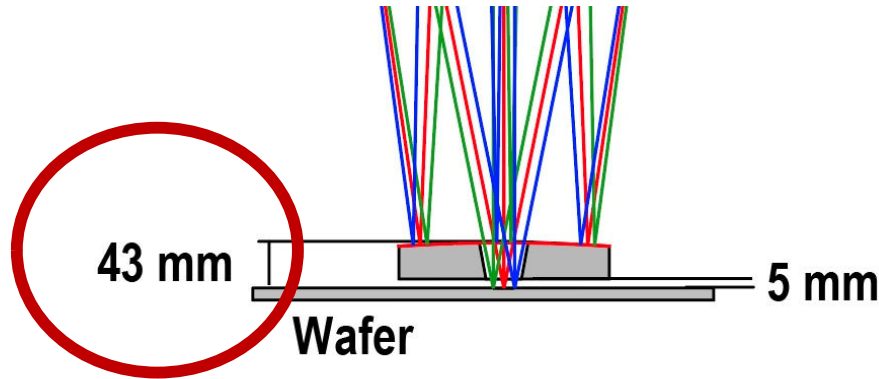


重大な見落としを発見！

Jean-François Millet (1857)



# 第2ミラーを薄くすると露光フィールドが広がる！



Joseph Petzval

1807-1891

2枚のミラーの曲率がほぼ等しくなり  
**Petzvalの和**の条件を満足する

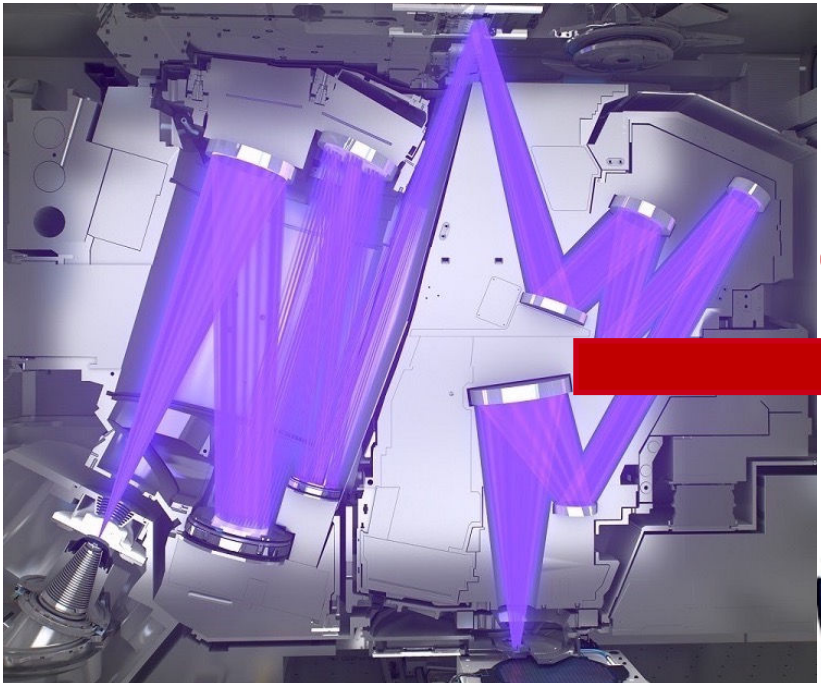
$$\sum_{k=1}^n \frac{1}{R_k} = \frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} = 0$$

→ 露光フィールドが格段に広がった。

**0.6 mm → 10 mm以上**

→ 対物レンズだけで露光装置が実現できる

# 新技術の特徴・従来技術との比較

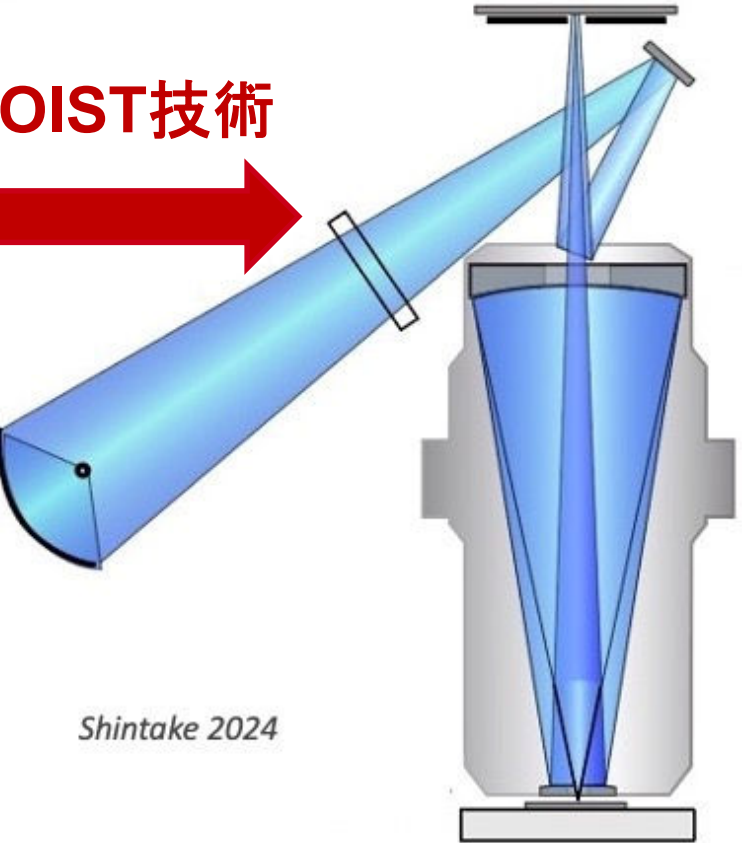


Source: ASML Media Library, ©ASML

**OIST技術**



**消費電力が10分の1  
100 kW以下に削減**



Shintake 2024

**単純な構成となり  
製造が容易  
低価格  
メンテナンスが容易**

0.3 NA, 10 mm field  
0.2 NA, 20 mm field

**マルチパターンニングにより  
N6、N3、N2ノードに対応可能**

**EUV光源装置が、  
安定でメンテナンスフリー  
となり、半導体の  
量産性が向上する**

## その他のメリット

1. マスク、ウエハ平坦度の要求がArFより3倍ゆるい

$$DOF_{\text{EUV } 0.2\text{NA}} = 340 \text{ nm}$$

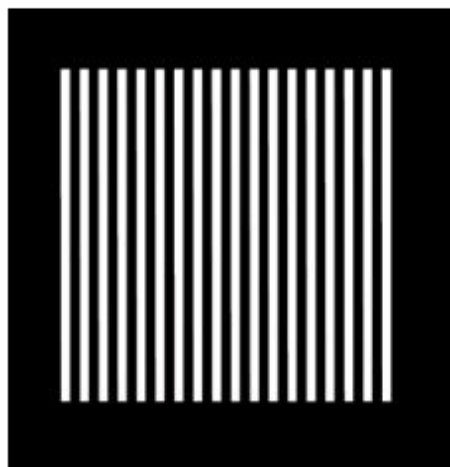
$$DOF_{\text{iArF } 1.35\text{NA}} = 110 \text{ nm}$$

2. マスク正面からの照明であり、Mask-3D effect がない

3. マスク、ウエハの高さ誤差によるパターンの移動がない  
Overlay再現性が良い

# パターンニングのシミュレーション

FFT simulation 0.2 NA



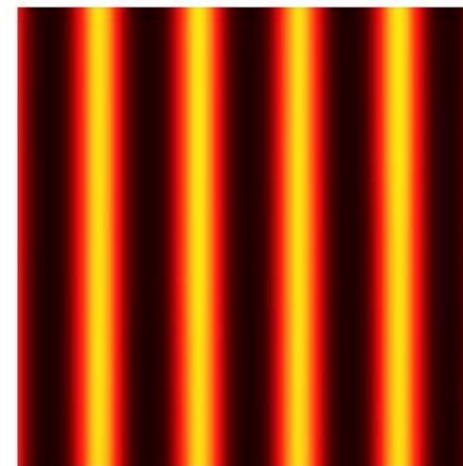
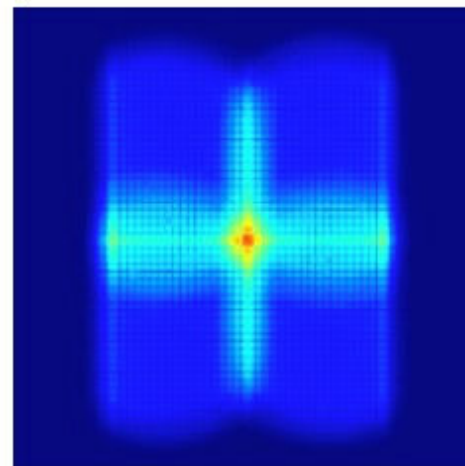
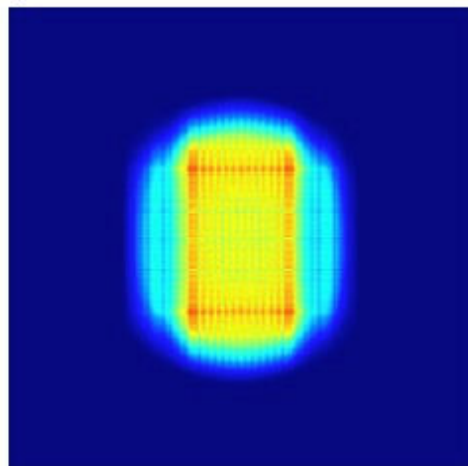
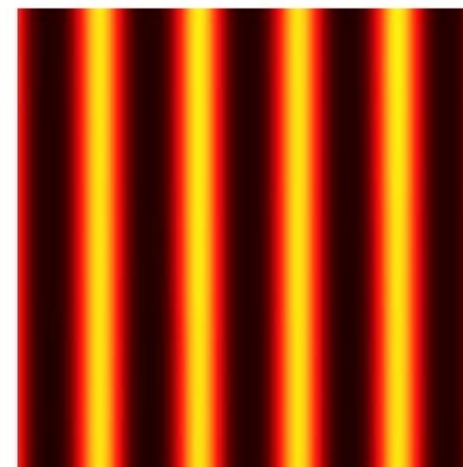
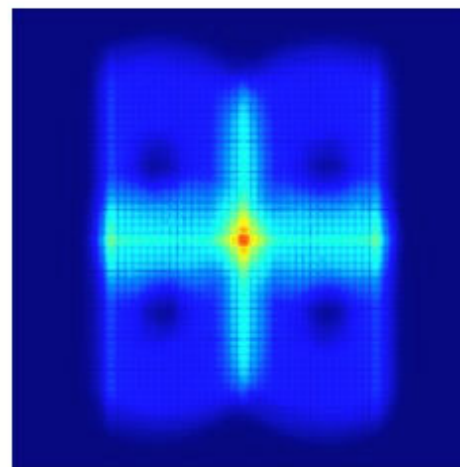
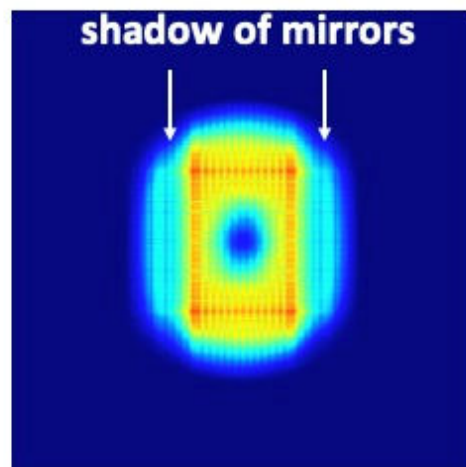
27 nmHP Vertical Line

NA 0.2

Partial coherence

$$\sigma_x = 0.24$$

$$\sigma_y = 0.2$$

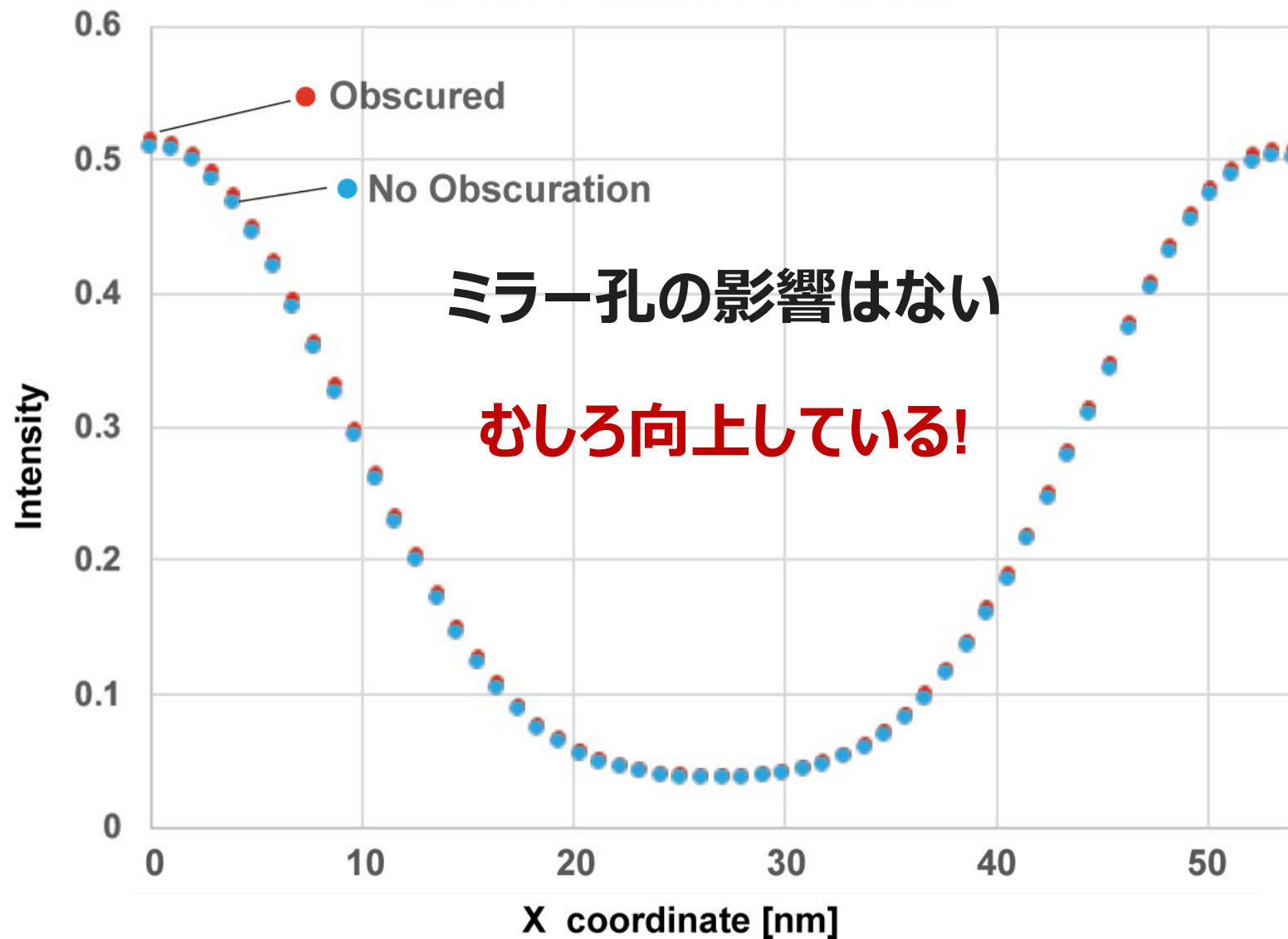


さらに0.3 NA, 16 nm HP  
マルチパターンニングにより  
将来的にN2ノードに対応可能



# 1 ピッチのコントラスト

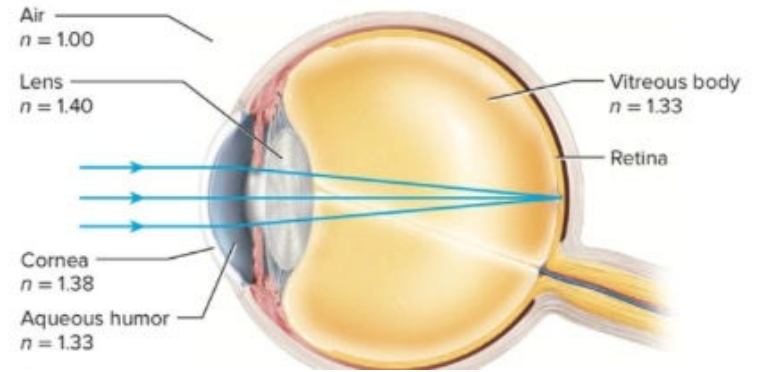
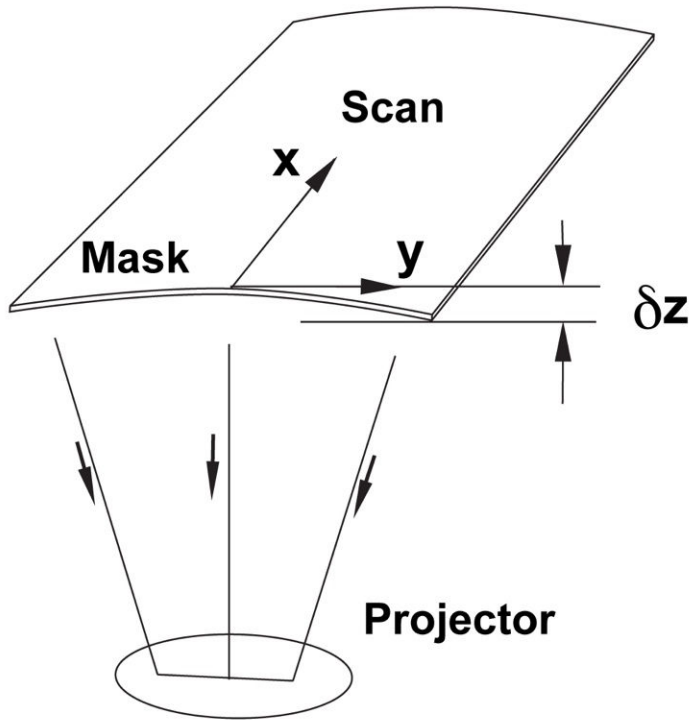
27 nmHP Vertical Line 0.2 NA



# (オプション) : Curved Surface Mask プロジェクター高さを低くできる

## Petzval sum

$$\sum_{k=1}^n \frac{1}{R_i} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots = \frac{1}{R_{curve}}$$



Source: <https://slideplayer.com/slide/13907568/>, p25

## Correcting field curveture

Tool height	Max-bend	Scan Field
<b>2 m --&gt; 1.5 m</b>	at mask edge	
<b>NA 0.3</b>	<b>-31 micron</b>	<b>10 mm</b>
<b>NA 0.2</b>	<b>-120 micron</b>	<b>20 mm</b>

Strehl > 0.99

Curveture ~ 7 m

## 海外からの応援メッセージ

- ***I appreciate the clever ideas you have had, hope you have success.*** (May 23th)

....**Davis Shafer** (Inventor, 65 years experience on optics design, made >200 patents, including lithography)

**巧みなアイデアに敬意を表します、成功を！**

(デイビッド・セIFAー 特許200件以上の光学設計エキスパート)

- *The design simplification you have achieved is **very impressive.*** (May 7th)

...**Fritz Blechinger** (Expert in optical design at Optenso Co.)

**設計がこれほど単純になったのは驚異的です！**

(フリッツ ブレッチンガー 光学設計エキスパート)

- *I agree that **current EUV lithography is too expensive**, and certainly very inefficient.*

*ASML need an approach like yours...*Henry Chapman (Inventor of EUV illuminator system, DESY Hamburg)

**ASML EUVは高額すぎるし、効率も悪い。ASMLは貴方の方式を取るべきです。**

(ヘンリー チャップマン 露光装置の証明系の発明者、ドイツ)

- ***Terrific paper.*** *Enormous potential reduction in electricity etc. Very clever*  
-- *typical of the Shintake insight.* **Jonathan Dorfan** ( Previous OIST President)  
**素晴らしい論文。電力削減の可能性など計り知れない。**

## 実用化 計画 (仮)

- 可視光LEDでの実証実験 (2024~25 OIST)
  - ½スケールプロジェクター
  - スキャナー動作
  - CCDによる画像確認
- EUV波長での実証試験 (2025~ 大学企業連携)
  - パターニング試験 (マスク固定)
- 実用機開発 (中核企業への国からの援助)



## 多数の皆様の協力をお願いします！

- EUV光源（20ワット）
- 直径 60 cmの凹面鏡
- EUV多層コーティング
- 光学系組み立て、調整、波面測定
- スキャナー駆動部 真空対応が必要
- Mask（Curved Surface Maskのオプション検討）
- Wafer
- 大型真空チェンバ
- 防振対策

## 企業への貢献、PRポイント

大学 + 企業連携で早期実現を！

## 本技術に関する知的財産権

発明の名称 : 光学系、投影露光装置、及び投影露光システム

出願番号 : 特願2024-065769

出願人 : 沖縄科学技術大学院大学学園

発明者 : 新竹 積

関連論文

<https://arxiv.org/abs/2405.11717>

T. Shintake, “Can we improve the energy efficiency of EUV lithography?”, May 20, 2024

# お問い合わせ先

沖縄科学技術大学院大学

OIST | **Innovation**

技術移転セクション E-mail : [tls@oist.jp](mailto:tls@oist.jp)

