# 45nm以降に向けたリソグラフィ技術

## ーArF液浸への期待とその後の展開ー

WG5副主査

**富士通㈱　羽入勇**

# WG5 メンバー

- JEITA電子デバイス部会 半導体幹部会/関連会社　13名
  山部 正樹/事務局(富士通)、内山 貴之(NECEL) 、福田 宏/国際担当(日立) 、
  須向 一行(ルネサス) 、笹子 勝/国際担当(松下) 、守屋 茂(ソニー) 、
  久原 孝一(三洋) 、東川 巌(東芝) 、田渕 宏樹(シャープ) 、
  和田 恵治(ローム) 、久原 孝一(三洋)、小久保 明(セイコーエプソン) 、
  羽入 勇/副査(富士通)
- コンソーシアム　4名
  岡崎 信次(ASET) 、寺澤　恒男(ASET) 、有本 宏(SELETE) 、
  中瀬 真(JEITA)
- 特別委員　(大学･独立行政法人)　2名
  堀池 靖浩(物材研) 、古室 昌徳(大分産科技術センタ)、
- 特別委員(SEAJ、他)　12名
  森 晋(SEAJ:ニコン) 、山田 雄一(SEAJ:キヤノン) 、山口 忠之(SEAJ:TEL)、
  斎藤 徳郎(SEAJ:日立ハイテク) 、亀山 雅臣/主査(ニコン) 、
  竹花 洋一(MET) 、林 直也(大日本印刷) 、河合 義夫(信越化学) 、
  栗原 啓志郎(TAO) 、井上 弘基(機振協)、奥田 能充 (凸版) 、
  遠藤 章宏 (リープル)

# 内容

- 2004 Updateの変更内容
- Potential Solutionsとして期待されるリソグラフィ技術
  - ArF液浸リソグラフィ
  - EUVリソグラフィ
  - マスクレスリソグラフィ(ML2)

# 2004 Updateでのリソグラフィ章の変更

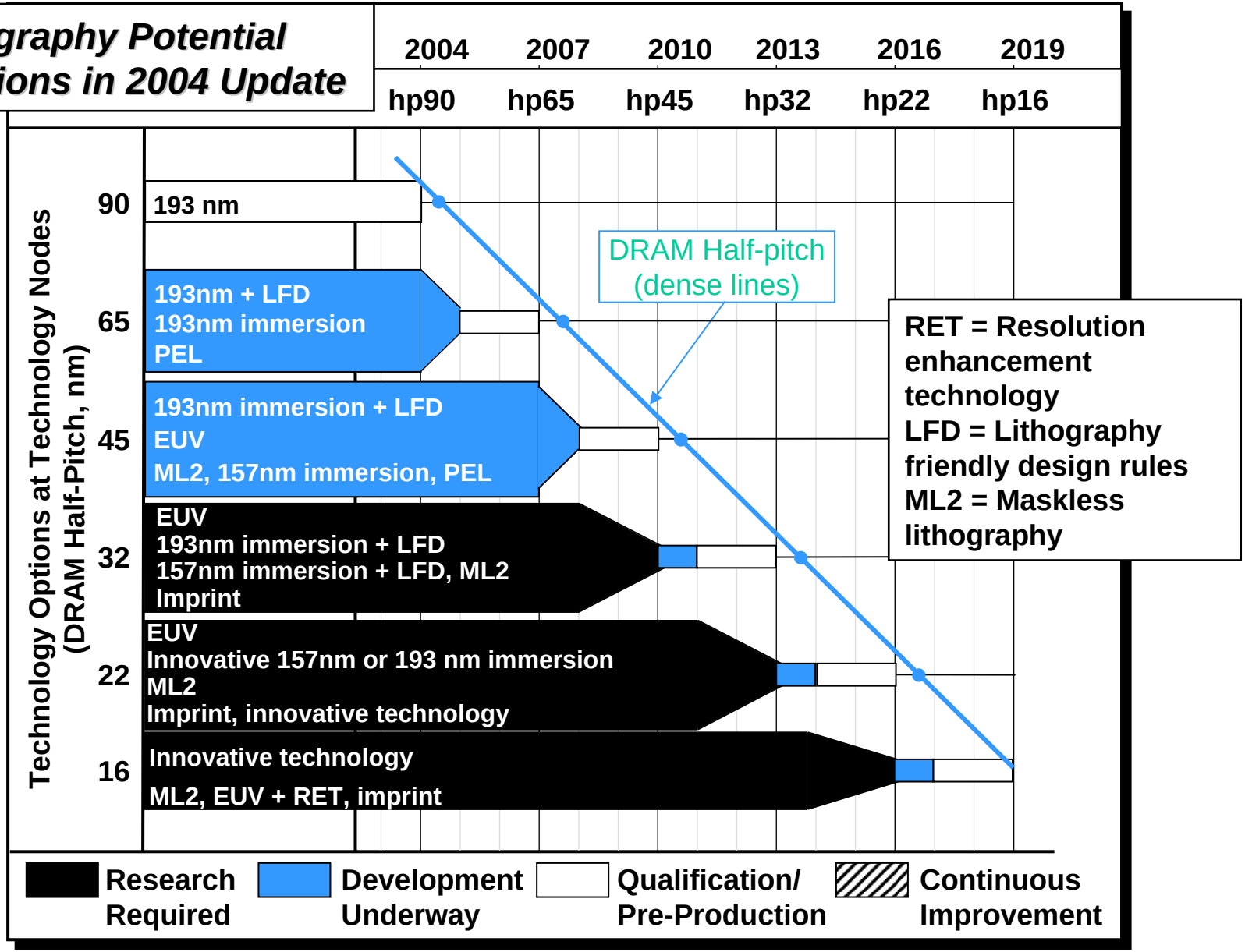
- 短期でのPotential Solutionsの新しい基準の定義
  - 定義に基づきPotential Solutionsの改訂
- 液浸リソグラフィ関連の困難な課題
- 低コストなポスト光リソに向けた課題
- リソグラフィテーブルの改訂
  - CD コントロール(total CD control)
    - 4nm(3s)以下のCDコントロールは"Red"
    - レジストでのゲート寸法は2005年に見直される.
  - Changes to coloring, footnotes, etc.
    - オーバーレイの定義を追加
    - マスクテーブル及びレジストテーブルのアップデート
  - 今後の検討項目 (2005 updates probable)
    - LWR/LER の定義と値
    - APCへの要求

# Potential Solutionsの新しい基準

- 全てのインフラ(マスク, 露光ツール, レジスト等) が相当するノードに対し揃うこと.
- 少なくとも二つ以上のリージョンのICメーカーが計画していること
  - N+3以降のノードではこの限りではない.
- 最先端のクリティカル層に対応するテクノロジィであること.
- 対応する露光ツールが世界で１００台以上使われること.

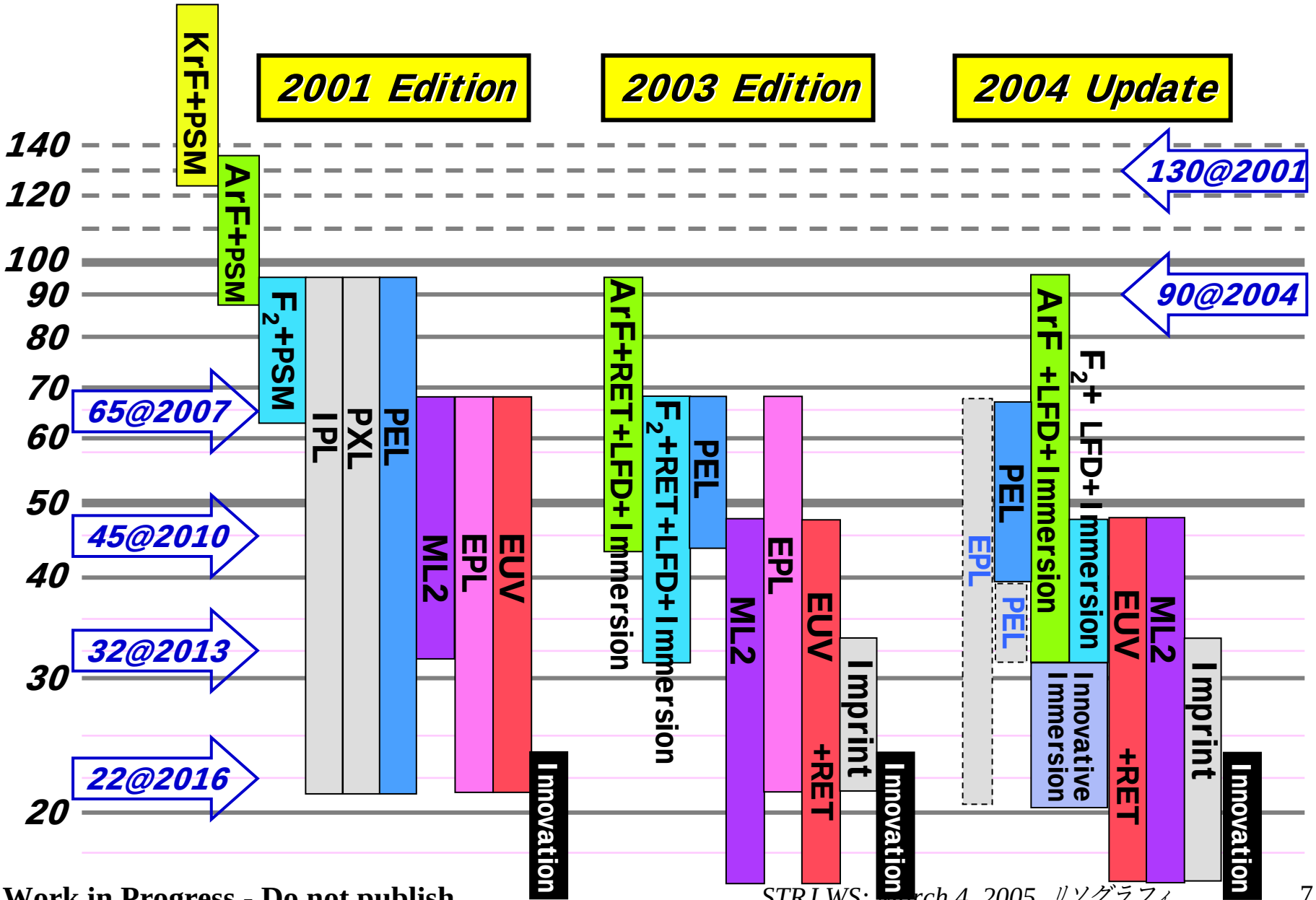
この基準を基づき日米欧韓台の各WGの意見を集約し
Potential Solutionsを決定

# Lithography Potential Solutions in 2004 Update




*Notes: EPL is a potential solution at the 65, 45 and 32-nm nodes for one geographical region, and PEL is a potential solution at the 32-nm node for one geographical region. RET will be used with all optical lithography solutions, including with immersion; therefore, it is not explicitly noted.*

# Transition of ITRS Litho Potential Solutions



# Potential Solutionsのまとめ

- ArF液浸技術への期待が高い
  - 純水でNA：～1.3　hp45-65nm
  - 高屈折液浸でNA:>1.5　hp32nmも視野に
- F2液浸はArF高屈折液浸のBackup
- EUVはhp32nmから本命視.
- ML2 (Maskless Lithography)もhp32nm以降に期待.
  - 小中量生産に向けた動き
- hp16nm以降はInnovative technology.
  - 具体的な技術はなく，新しい技術が必要との認識

# 困難な技術課題- 短期

| 2009年, >50nmまでの5つの困難な課題 | 課題の要約 |
|---|---|
| 解像力向上のための光リソグラフィマスクと光以降のリソグラフィ用マスク | ・光マスクの位置精度, CD制御, 欠陥制御<br>・無欠陥のEUV多層マスク基板/EPLメンブレンマスク<br>・装置インフラ (描画装置, 欠陥検査装置, 欠陥修正装置)<br>・データ量 |
| コスト抑制と投資利益率 (ROI) | ・装置価格と生産性を現在と同等以上に維持する<br>・採算に合うRET対応光マスクと光以降のリソグラフィ用マスク<br>・十分なライフタイムを持つ露光装置技術<br>・複数のリソグラフィを同時に開発できる開発体制<br>・少量生産品に対するROI |
| プロセスコントロール | ・ゲート寸法をばらつきを4 nm (3σ) 以下に制御するプロセス技術<br>・19nm以下の重ね精度を達成する新規あるいは改良されたアライメント技術と重ね合わせ技術<br>・OPC (Optical proximity Correction) の精度 (特に偏光の効果)<br>・露光装置のフレアの抑制<br>・リソフレンドリ設計とDFM (Design for Manufacturing) |
| 193nmと193nm液浸レジスト | ・アウトガス, 液浸時の溶出, LER, SEM起因のCD変化, 30nm以下の欠陥<br>・高屈折率レジスト |
| 欠陥制御 | ・液浸での欠陥抑制 |

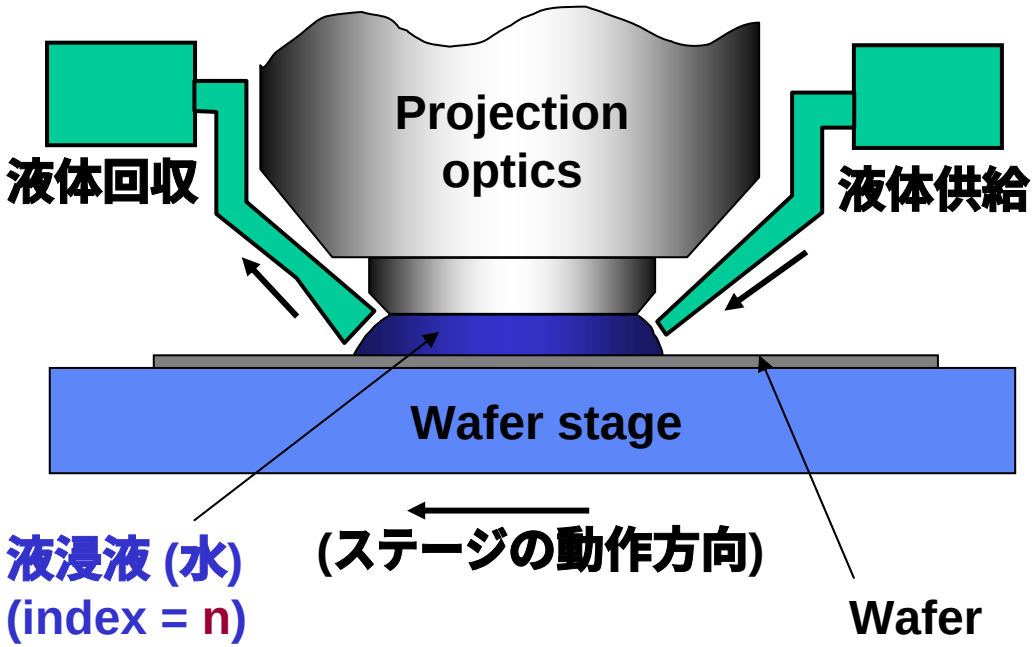
# 困難な技術課題- 長期

| 2010年, <45nm以降の<br>5つの困難な課題 | 課題の要約 |
|---|---|
| マスク製作とプロセス制御 | ・無欠陥のNGLマスク (特に1倍のインプリント, EUVマスクブランクス)<br>・マスク製造装置 (描画, 欠陥検査・修正) インフラのタイミングと能力<br>・マスクプロセス制御方法と歩留り向上<br>・157nm液浸用ペリクルとEUVマスクの欠陥保護 |
| 計測と欠陥検査 | ・LWRの2.2nm(3s)精度を伴った7nm線幅までに対応する解像性と精度<br>・7.2nmまでのオーバレイを計測する技術<br>・パターン付ウェハでの30nm以下の欠陥検査 |
| 価格維持とROI | ・装置コストとスループットの比の維持または改善<br>・コスト効果のある光マスクとNGLマスクの開発<br>・十分なテクノロジ寿命を持ち業界が満足できるROIと少量生産品に対するROIの達成 |
| ゲートCD制御 | ・適切なLWRを持った4nm(3σ)以下のゲートCDを達成するプロセスの開発<br>・7.2nm以下の重ね合わせ精度を達成する新規アライメント技術と重ね合わせ技術の開発 (特にナノインプリント)<br>・Low-K1光リソグラフィのプロセス設計とプロセス制御<br>・液浸の限界を実現する高屈折レジスト, 高屈折液, 高屈折光学材料<br>・拡散長に起因する50nm以下の線幅での化学増幅レジストの感度限界 |
| 量産用装置 | ・ITRSの要求に合った光とNGL露光装置<br>・高出力で低コストのEUV光源<br>・157nm液浸に向けたCaF2のコスト, 歩留り, 品質 |

# Potential Solutionsとして期待される リソグラフィ技術

- ArF液浸リソグラフィ
  - ✓液浸とは？
  - ✓液浸技術の効果
  - ✓超高NA液浸技術の可能性
- EUVリソグラフィ
- マスクレスリソグラフィ(ML2)

# 液浸とは




NA = n sin θ

解像力 = k1 λ / NA
= k1 λ / (n sin θ)
= k1 (λ/n) / sin θ
→ 解像力の向上

DOF = k2 (λ/n) / 2 (1-cos θ )
~ k2 (λ/n) / sin² θ
= k2 n λ / NA²
→ 焦点深度の改善

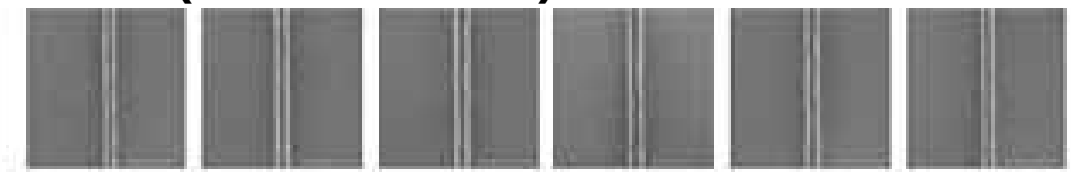
→ 液浸は解像力と焦点深度の両方の改善に有効
但し，解像力向上にはより大きなNAが必要

# ArF液浸露光の効果

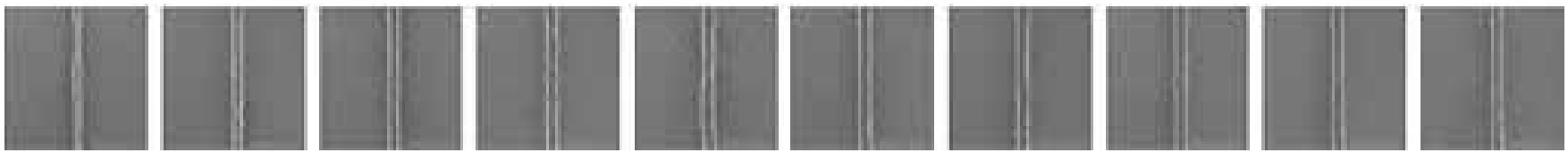
## 90nm Iso Line, with Topcoat

**Dry**
**(Dose: 170 J/m2)**

**DOF=0.25um**



-0.25 -0.20 -0.15 -0.10 -0.05 B.F. +0.05 +0.10 +0.15 +0.20



**Immersion**
**(Dose: 140 J/m2)**

**DOF=0.40um**

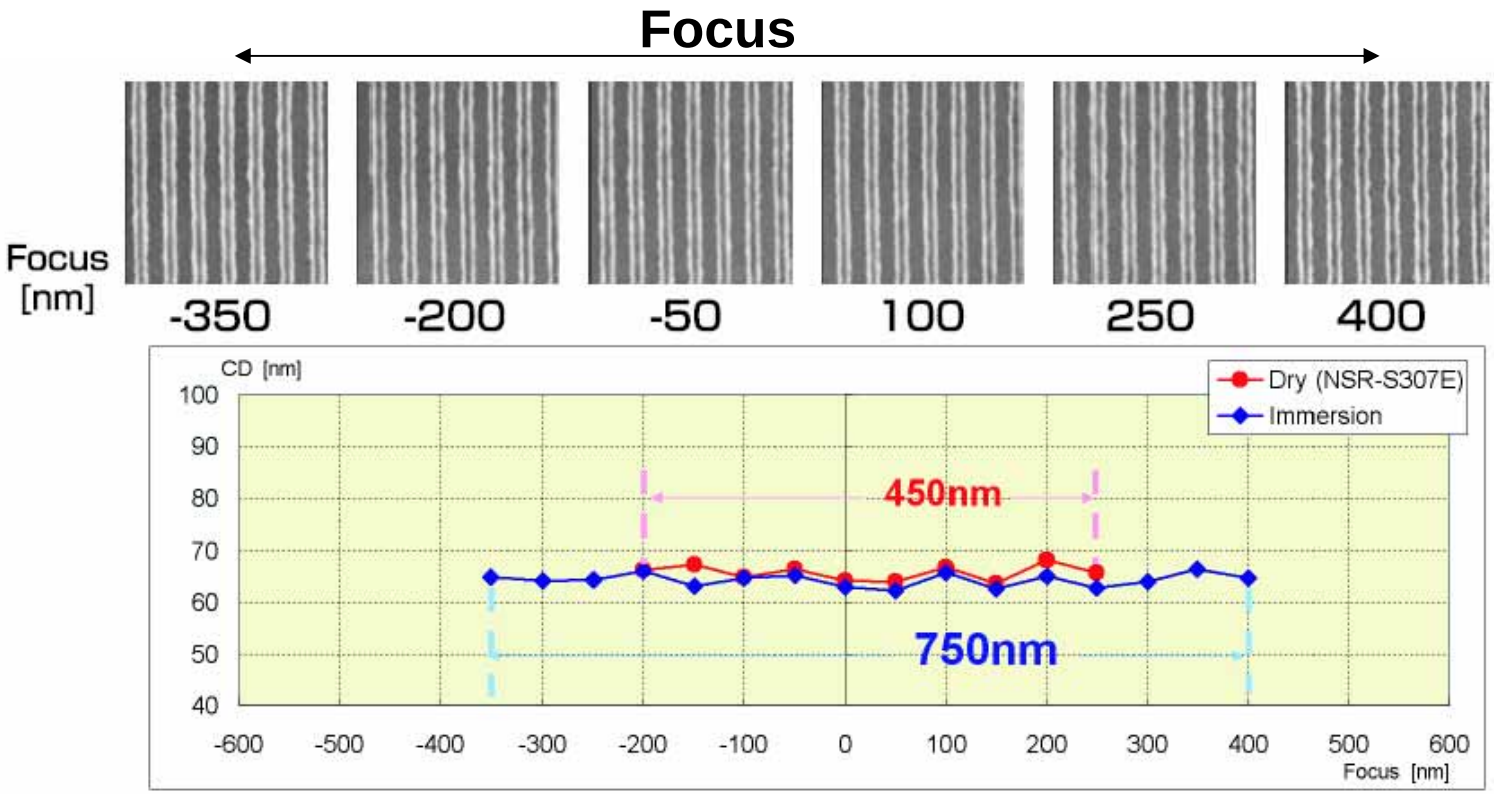
**Condition**

Illumi: NA0.75 2/3Annular
Mask: Att.PSM (CANON)
Substrate: Bare-Si
BARC: AR46(30nm)
Resist:ARX-2014 (130nm) / JSR
TARC:TCX001(29nm) / JSR
Development: 60sec

**Courtesy of Canon**

**Work in Progress - Do not publish**

# ArF液浸露光の効果 - 65nm L&S -




**Dynamic exposure**

**Mask:6% Attn-PSM, Dipole illumination (NA=0.85, σ =0.93)**

**Resist：TArF-P6111 (t =170nm), Top coat TSP-3A (t = 34nm)**

**65nm L/S, DOF=750nm with Dipole illumination**

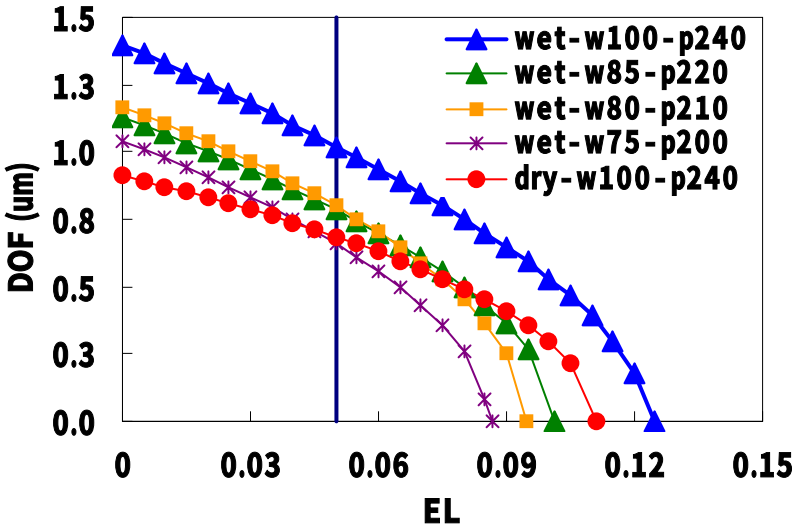
**Courtesy of Nikon**

**Work in Progress - Do not publish**

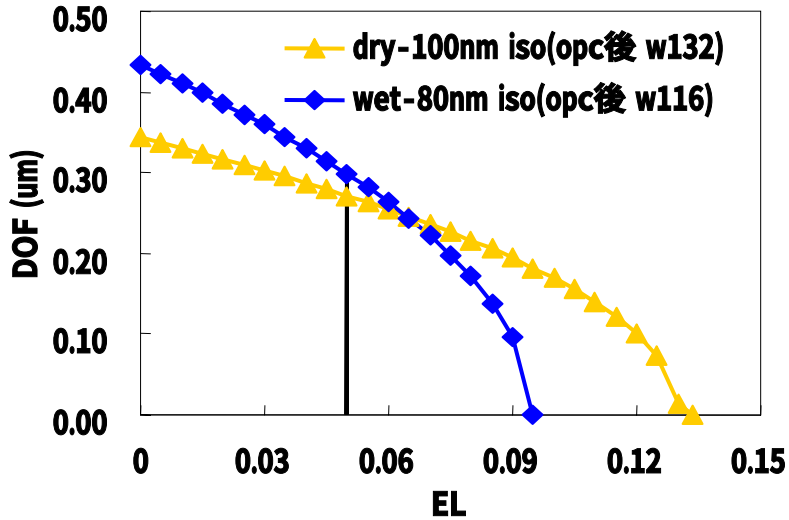
# 実用解像度の向上

NA：0.75, 2/3Ann. (実験結果)

密パターン




孤立パターン




EL:5%, DOF:0.3um
(90nm node)

100nm: iso & 240nm pitch → 液浸技術 → 80nm iso & 210nm pitch

**K1の実効的な改善**

# 実効波長 (λ/n)

$$NA = n \sin\theta$$

$$\text{Resolution} = k_1 \lambda / NA$$

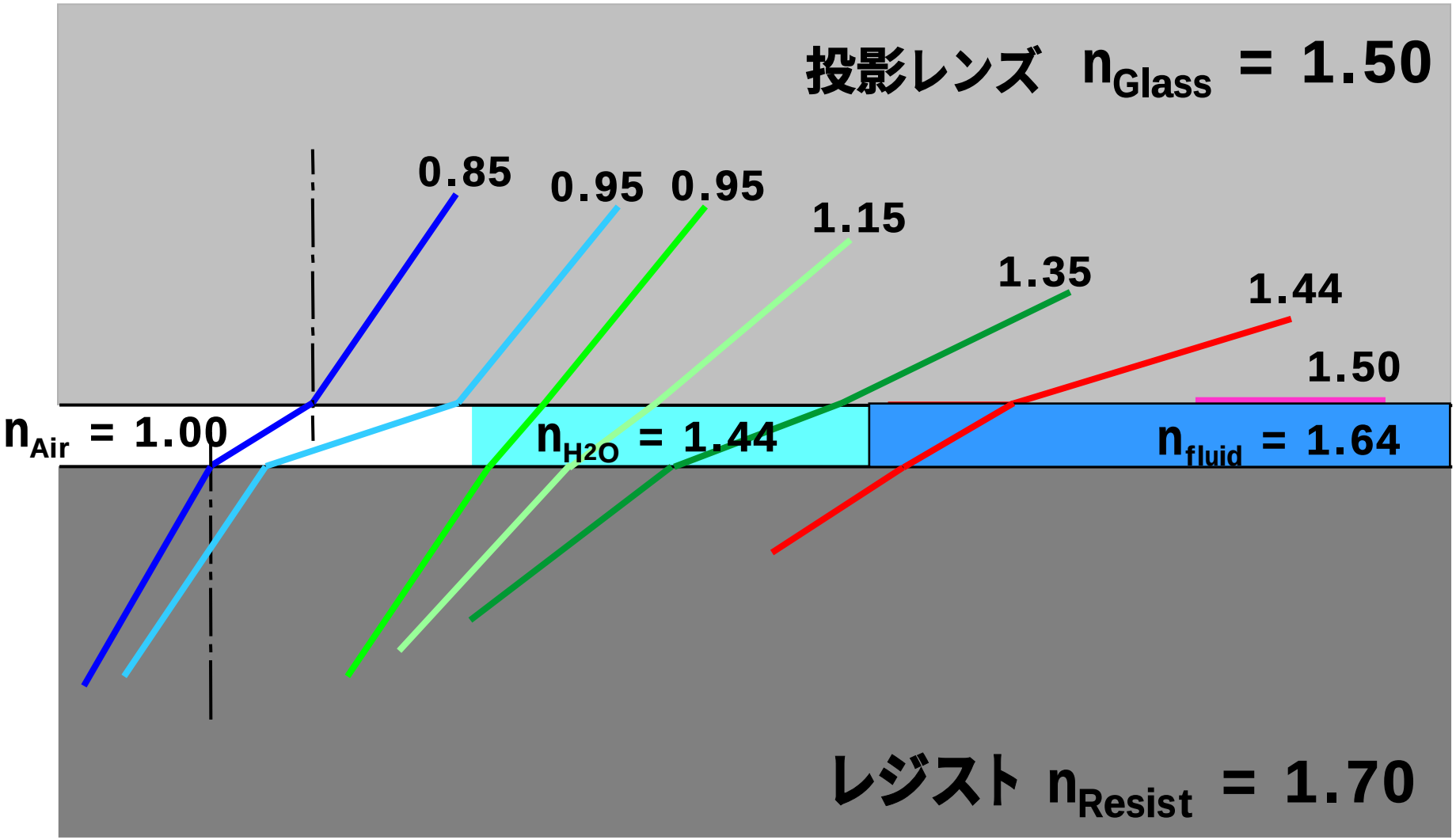
$$= k_1 (\lambda / n) / \sin\theta$$

| | 媒体 | 屈折率 | λ/n | 比 |
|---|---|---|---|---|
| ArF ドライ | Air | 1.00 | 193nm | 1 |
| KrF 液浸 | H2O | 1.36 | 182nm | 0.94 |
| F2 ドライ | Air | 1.00 | 157nm | 0.81 |
| ArF 液浸 | H2O | 1.44 | 134nm | 0.69 |
| ArF 高屈折液浸 | New Fluid | 1.64* | 118nm | 0.61 |
| F2 液浸 | PFPE | 1.37 | 115nm | 0.60 |

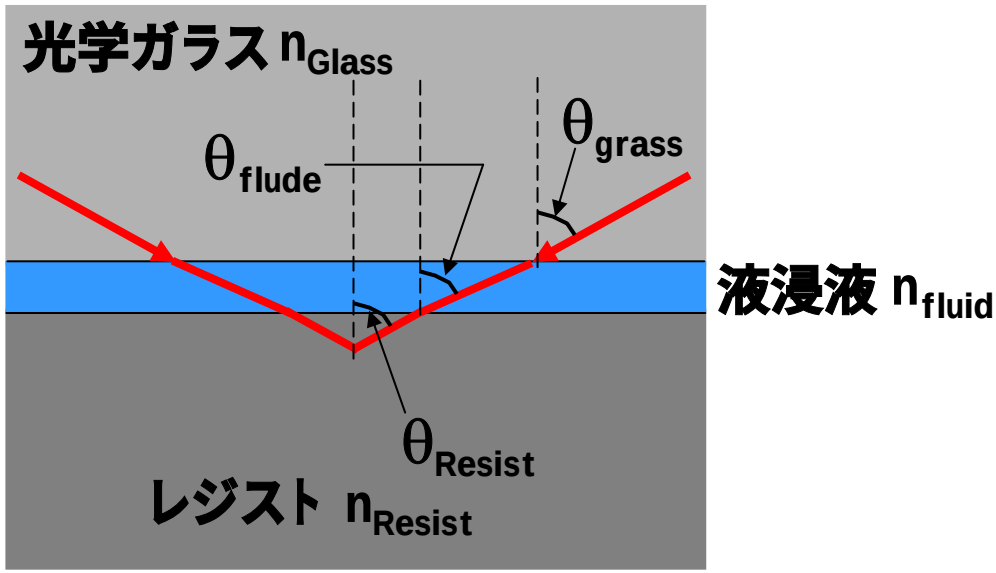
*：JSR開発液浸液の場合

ArF高屈折液浸はF2液浸と同程度の解像度が期待できる

# 高屈折材料の必要性


投影レンズ $n_{Glass}$ = 1.50
0.85
0.95
0.95
1.15
1.35
1.44
1.50
$n_{Air}$ = 1.00
$n_{H2O}$ = 1.44
$n_{fluid}$ = 1.64
レジスト $n_{Resist}$ = 1.70

# NA>1.5の実現には？



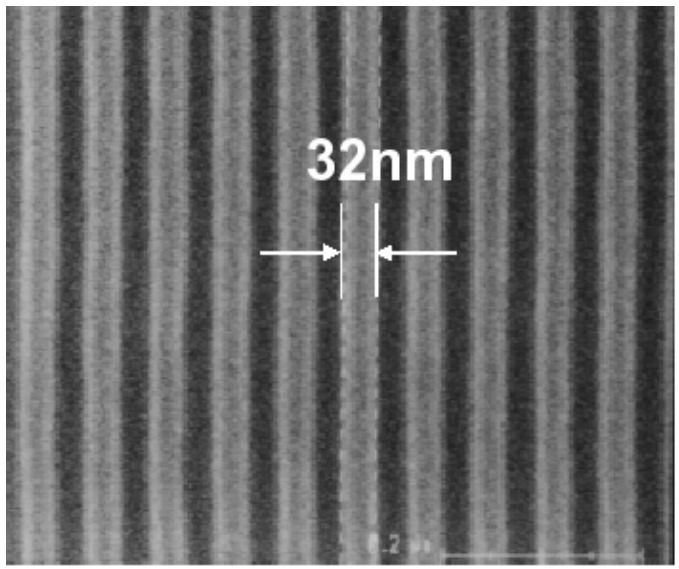

$$NA = n_{grass}\sin\theta_{grass} = n_{fluid}\sin\theta_{fluid} = n_{Resist}\sin\theta_{Resist}$$

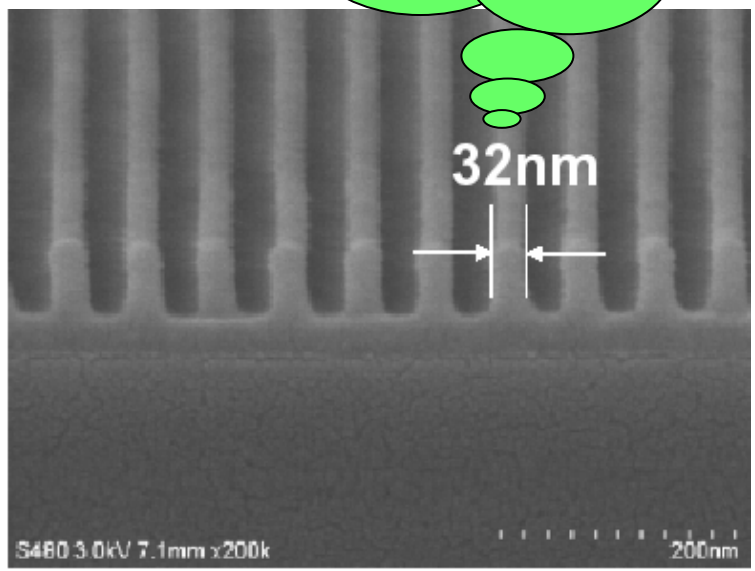
**最も小さい屈折率でNAは制限されるため，液浸液だけでなく光学ガラスも高屈折率材料(1.6～1.7) が必要**

# 32nm L/S ArF Immersion Lithography

32nmは
NA:1.5の限界
解像度に相当

**n=1.64@193nm**



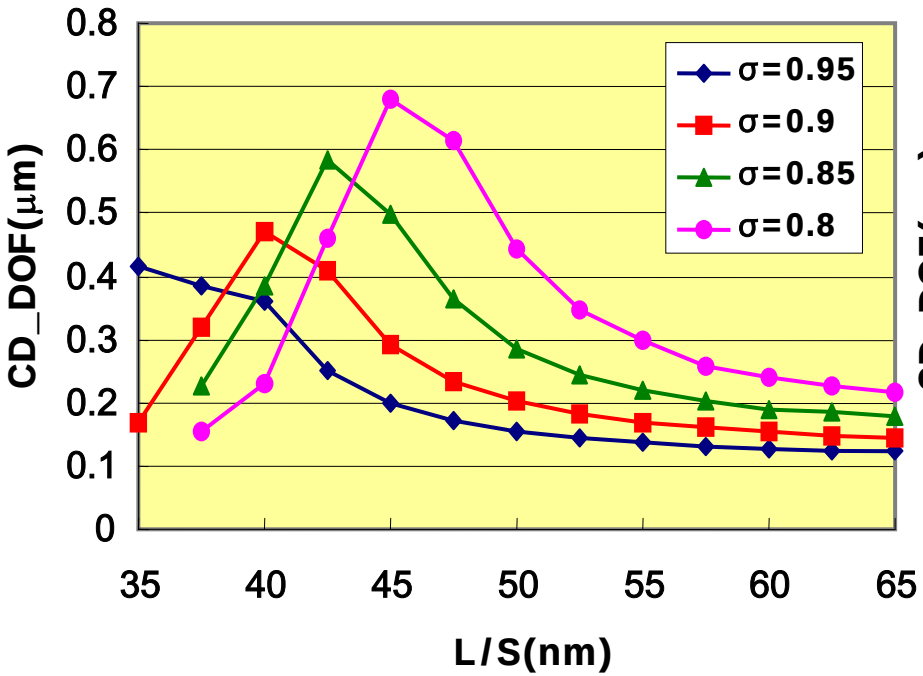

**by Canon interferometric exposure**
**in JSR's High Refractive Index Fluid**

Courtesy of JSR and Canon

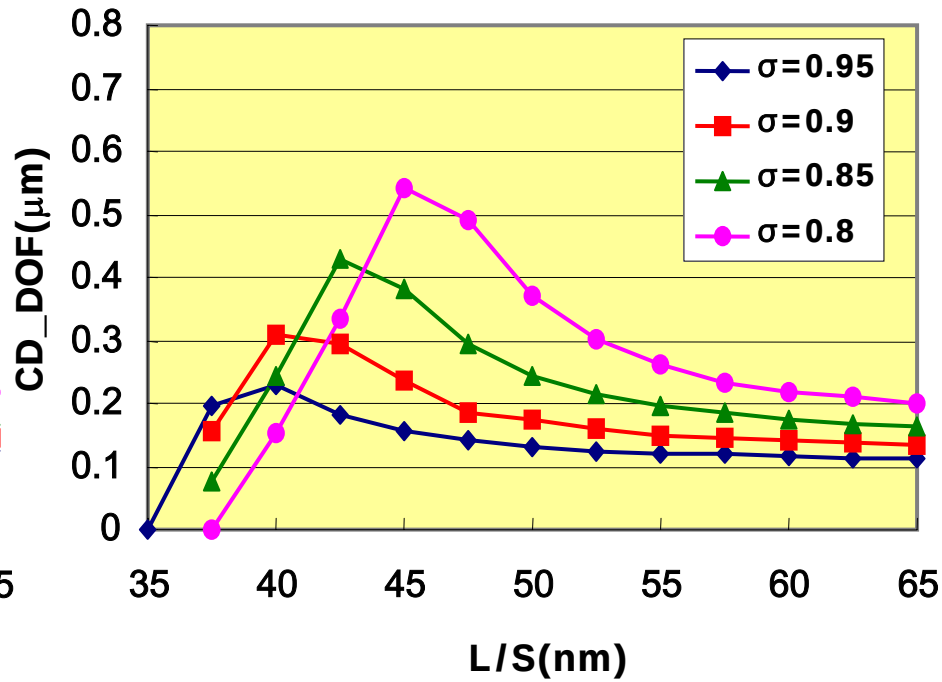
# 超高NA領域の結像解析

**NA=1.50, n_fluid=1.65**
**Dipole (4/5 Annular 30°), Att. PSM**

## S-Polarized




## Unpolarized




Courtesy of Canon

Work in Progress - Do not publish

# 液浸リソグラフィの技術課題

| | |
|---|---|
| ■ 光学系 | 超高NAレンズ（反射屈折系）<br>高屈折光学ガラス材料<br>偏光の効果と偏光照明 |
| ■ 制御技術 | 液供給回収（ノズル，バブル，エッジショット） |
| | 液温度制御，オートフォーカス/アライメント |
| ■ 液浸液材料 | 高屈折率/高透過率材料<br>純度（屈折率制御性） |
| ■ レジスト /ﾄｯﾌﾟｺｰﾄ材料 | 溶出（PAG，酸，クエンチャ）<br>膨潤，欠陥，アウトガス，コンタミ |

# ArF液浸のまとめ

- ArF液浸露光装置の出荷時期

| | | |
|---|---|---|
| '04 | NA：0.75~0.85 | 液浸開発機 |
| '05M~E | NA: 0.93~1.07 | 55 ~ 65nm対応 |
| | 反射屈折系レンズ⇩ | Memory Logic |
| '06M~'07B | NA: 1.2~1.3 | 45 ~ 55nm対応 |
| | 高屈折材料⇩ | |
| ('09？ | NA: ≧1.5？ | 32 ~ 45nm対応) |

- デバイス試作も海外の一部で行われており，ArF液浸技術に本質的な問題はないと考えられる．
- 高屈折材料の開発がArF液浸技術の延命の鍵となる．

# EUVリソグラフィの現状(1)

- ITRSにおける位置付け
  32nm/22nmの本命，45nmの2nd候補

- EUVリソグラフィのメリット
  - 短波長化(13.4nm)による大幅な解像度の向上.
  - OPC, RET等のトリックが当面不要.

- 主な研究開発機関 (コンソーシアムが主導)
  米国：ISMT(各種開発プログラム，マスクブランクス開発ライン)
  VNL(Virtual National Laboratories)，大学，
  Intel(マスクパイロットライン，MET)
  欧州：MEDIA+, IMEC, ASML
  日本：EUVA, ASET

# EUVリソグラフィの現状(2)

- **主な開発状況**
  - EUV**光源出力は従来の**10-20W**から**40-70W**に向上し，量産機での目標**115W**に目処.**
  - **無欠陥マスク基板･集光ミラー寿命が技術課題の上位に.**
  - **小フィールド露光機**（MET：Micro Exposure Tool)**が稼動を始め，レジスト開発/プロセス開発が本格化.**
  - Intel**のマスクパイロットラインが稼動開始**
  - **フルフィールドスキャナー(α機)が**'05**年**ASML**からリリース予定**. Nikon, Canon**は**'06-'07**年に予定.**

- EUV**リソグラフィのコスト懸念**
  - **産業界における莫大な開発費の負担　－　数百億円？**
  - **装置価格の高騰　－　**50**億円？**
  - **マスク価格は？**

# ML2(Maskless Lithography)

- **背景**
  - **世代毎のマスク価格の高騰**
  - **小中量生産品種**(SoC)**でのマスクコスト負担増大**
  - Time-to-Market
- **現状**
  - **デバイスの微細化に描画速度の向上が追いつかない.**
  - **研究開発, 商品開発**(ES**品**)**に**EB**直描が一部適用.**
    **研究開発**:**ウェハの一部だけを露光**
    **光露光と**EB**の**2**重露光**
    **商品開発**:**少ないウェハ枚数**(2-4**枚**)**で適用**

**高スループット機の開発が日欧中心に行われ,**
**各社**'07~'08**に**β**機を計画**

# 代表的な電子線ML2

| システム名称 | 開発機関 | 電子源 | 加速電圧 | ビーム数/アパーチャ数 | スループット@300mm |
|---|---|---|---|---|---|
| Multi e-beam System | NEDOプロジェクト | 単一 | 50kV | 32x32 | ~2 wph |
| MCC | アドバンテスト | 複数/複数カラム | 50kV | 16 | ~10 wph |
| PML2 | LEICA/IMS | 単一 | 100kV | ~29000 | ~5 wph |
| MAPPER | MAPPER Lithography | 単一 | 5kV | 13000 | ~10 wph |

# Multi e-beam system（NEDO Project)

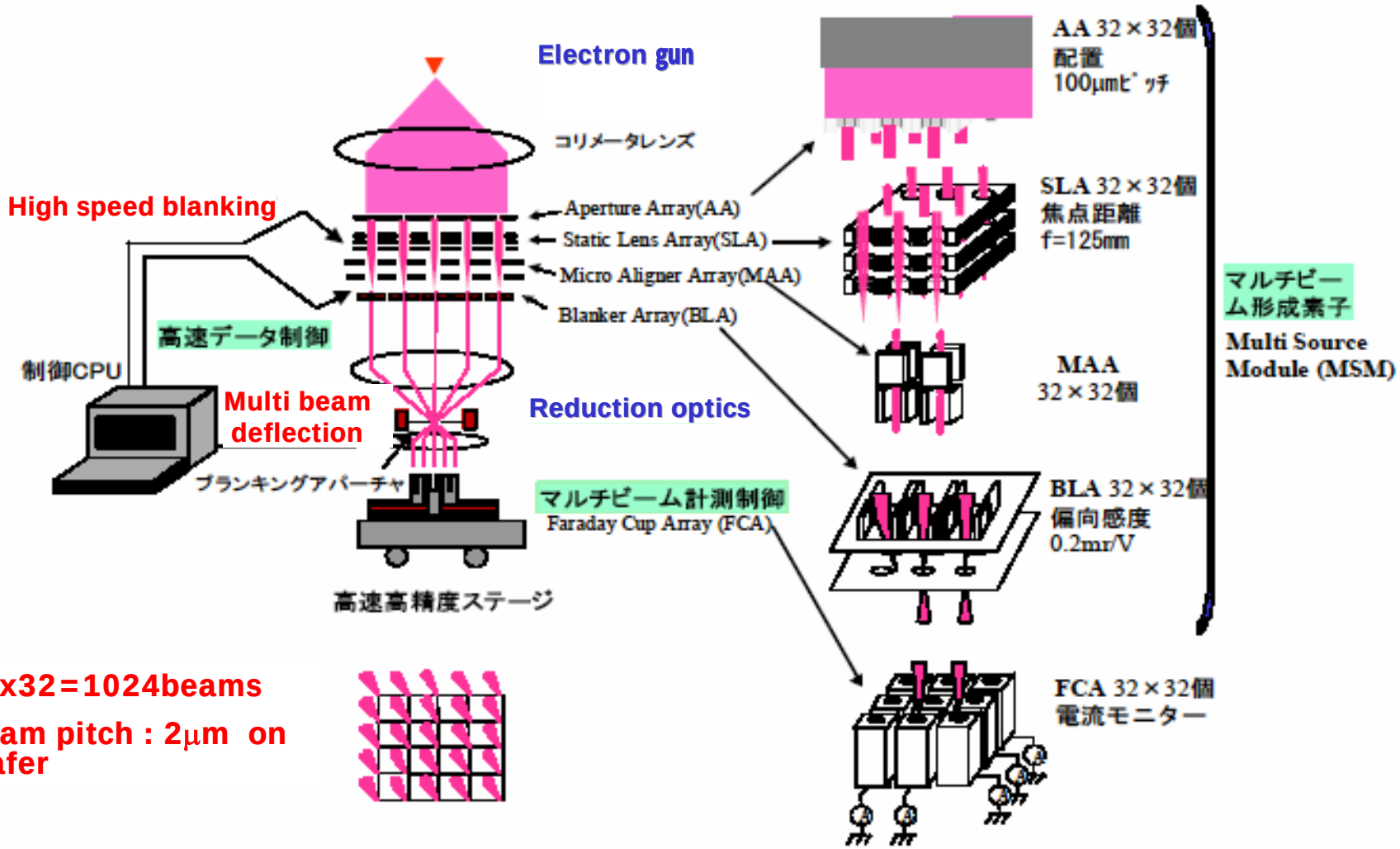



図２． １． BLA 法によるマルチ電子ビーム ML2 システム

Source: NEDO HP Report No.100003007

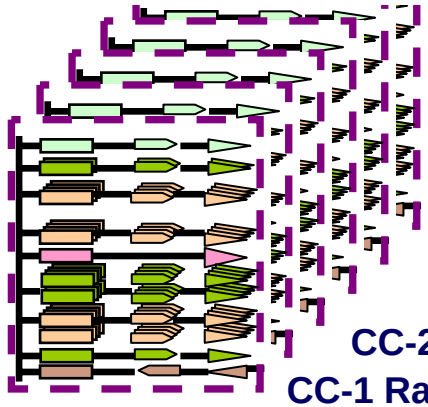
# 1st Generation MCC System with 16CCs

CPU

GUN HV Controller (4x4)

CC Lens Controller

Digital Control Circuits



CC-16 Rack

CC-2 Rack

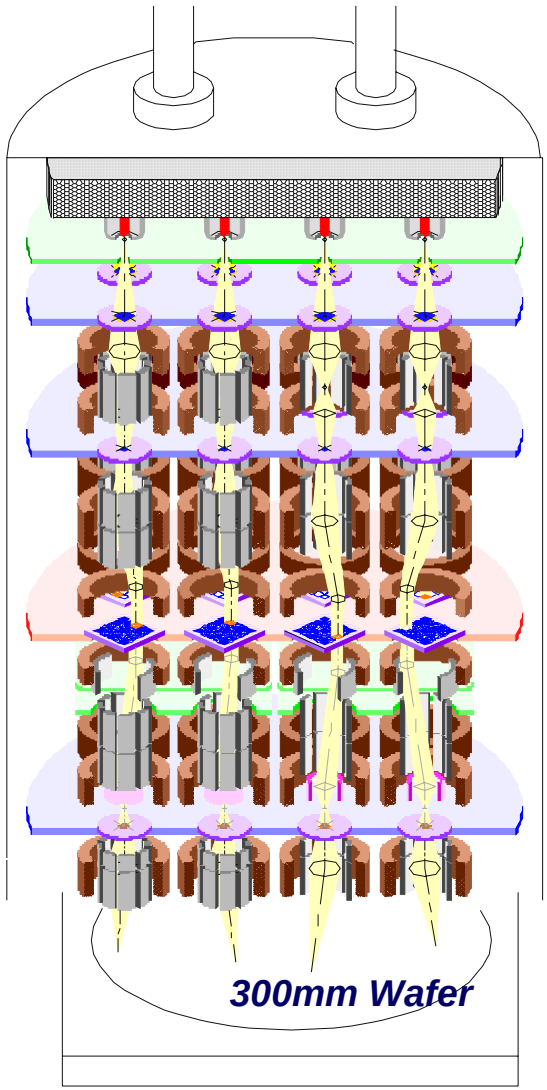
CC-1 Rack

High speed digital circuits for each CC ( DATA memory, PG, PC, CLK etc.) are in a rack of size about 400x400x400 mm³.

* Identical 16 racks for 16CC system.
* Digital circuits ; 3000x1000x2000mm³.

Stage Controller

Position Sensor

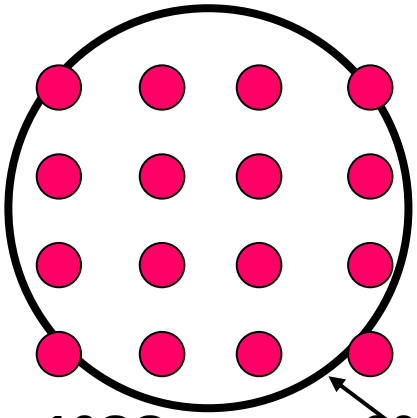



Wafer Stage

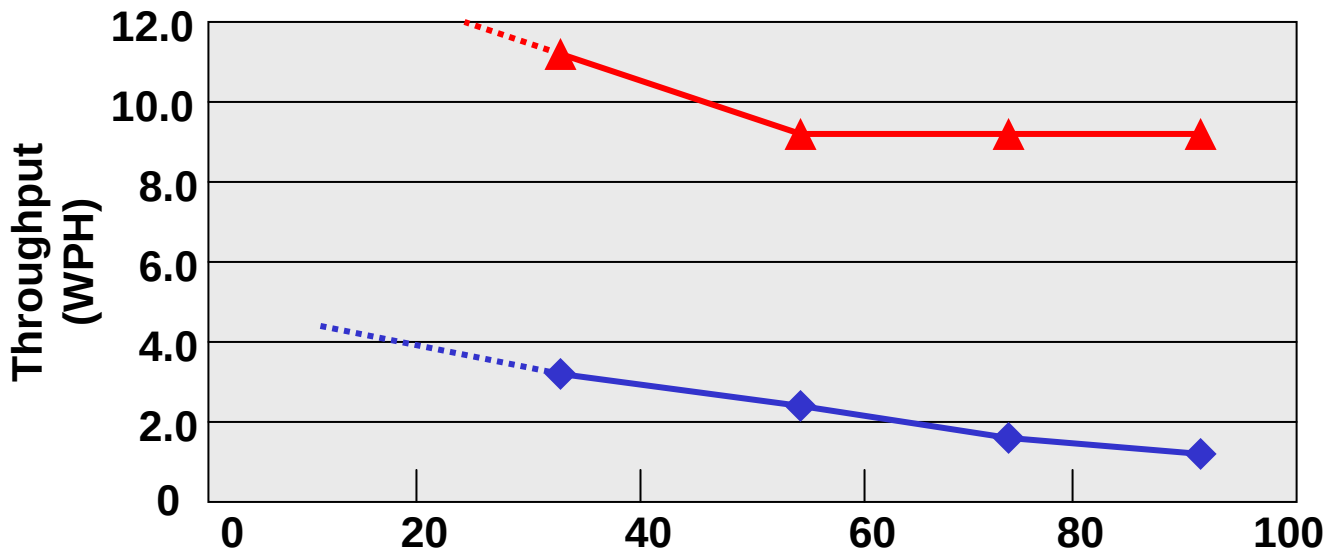
- Electron Gun (4x4)
- Blanking Deflectors
- Rectangular Apertures (4x4)
- Pre. Mask Deflector
- CP Masks (mounted on separated stage)
- Post Mask Deflectors
- Round Apertures
- Major Deflector (200x200 um²)
  Minor Deflector (10x10 um²)

# Throughput Estimation for 1st MCC System

## Estimation of Throughput for 65nm Device




| | VSB Flashes No. on 300mm Wafer(Gshots) | 16CCs-VSB (WPH) | 16CCs-VSB (WPH) |
|---|---|---|---|
| Contact Via (Ave.) | 33.4 | 3.6 | 11.0 |
| Wiring (Ave.) | 58.5 | 2.1 | 9.0 |
| Isolation | 76.5 | 1.6 | 9.0 |
| Gate | 91.9 | 1.4 | 9.0 |




Dependent on CP patterns prepared on CP mask.

# まとめ

- **この一年間でArF液浸が次期リソ技術として広く認知され，ArF液浸 → EUVへの流れができつつある．**
  - ✓ **ArF液浸がhp65nm，hp45nmの本命．高屈折材料開発されればhp32nmも視野に．**
  - ✓ **EUVは32nmから登場か？開発の枠組み，開発費用を含めたリソコスト等は課題**
- **少量生産品にはマスク価格が課題．ML2にも期待したい．**
  - ✓ **微細化と高スループット化の競争．**