マイクロ固体フォトニクス研究会
『半導体産業と小型集積レーザーとの接点』
March 16th 2022

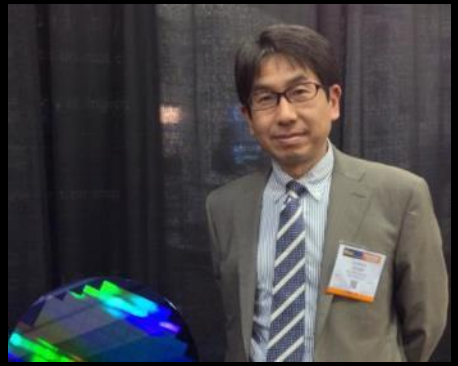
アーキテクチャ進化における製品開発マネージメント

Management of Product Development on Architecture Evolution

榎波龍雄

GIGAPHOTON

榎波龍雄　Tatsuo Enami



Dr. Tatsuo Enami
Director and Senior Executive Officer, COO. Vice president of Business Strategy Division Gigaphoton Inc.

- Currently serving as Senior Executive Officer, COO and Vice President, Business Strategy Division at **Gigaphoton Inc**.
- Served as Group Manager of the Development Division at **Komatsu Ltd.** for 4 years – responsible for laser system development.
- Held various positions in the Manufacturing Engineering Research Center at **Toshiba Corporation** for 7 years conducting research of Excimer lasers.

- Visiting researcher at Hosei University since 2015
- Received MBA from **Hosei University** in Tokyo, Japan, 2014
- Received doctoral degree in laser physics from **Kyushu University** in Fukuoka, Japan, 2000

ギガフォトン株式会社

Founded	2000年4月1日
Number of Employees	本社 708名, Gr全体 1036名 (2020)
Share Holder	株式会社小松製作所
Headquarters	栃木県小山市
Business Scope	半導体リソグラフィ用、その他用エキシマレーザ及び極端紫外線光源(EUV)の、開発・製造・販売

エキシマレーザの製造・販売

製品ラインナップ

（半導体リソグラフィ用）

KrF

G60K
波長：248nm
周波数：4kHz
40-60W出力

ArF dry

GT45A
波長：193nm
周波数：6kHz
45-90W出力

ArF immersion

GT66A
波長：193nm
周波数：6kHz
60-120W出力

（その他用途）

GIGANEX Series

当社の事業は半導体リソグラフィ用、その他用エキシマレーザ及び極端紫外線光源(EUV)の、開発・製造・販売です。

エキシマレーザとは、シリコンウェハーに回路パターンを焼き付けるための光源の一種です。この技術を利用したリソグラフィ用の光源メーカは当社を含め世界で２社しかありません。

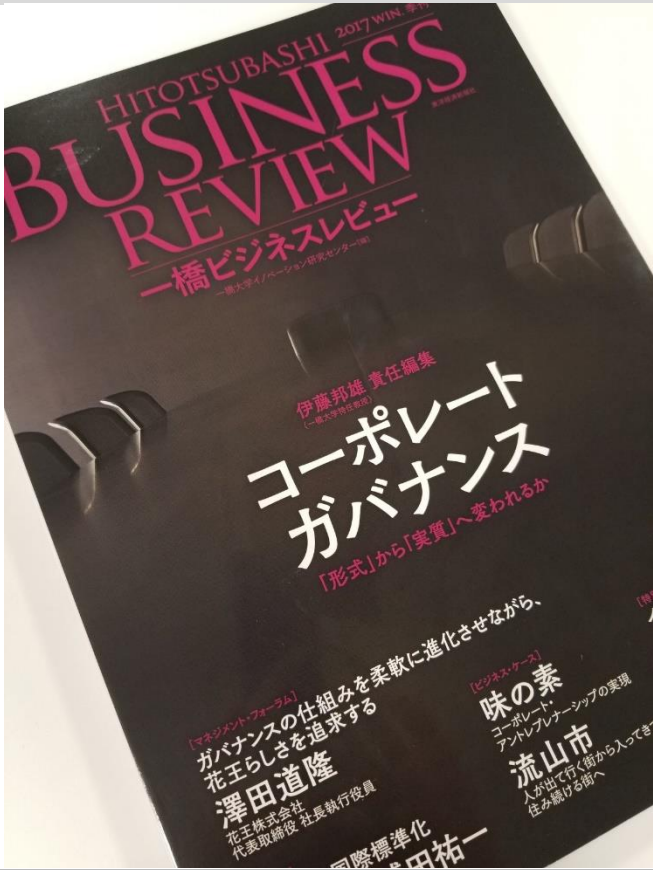
エキシマレーザの波長は、KrFで248nm、ArFで193nmであり、当社は、既存技術の改良や、より波長の短いEUV（Extreme Ultra Violet、極端紫外線）といった新しい光源の実用化に取り組んでいます。

また、それ以外の加工用光源の開発・製造・販売も行っています。

講演の背景

2017年冬号に掲載された、“アーキテクチャ進化における製品開発マネジメント『半導体露光機産業の事例から』を基に**製品アーキテクチャと組織内外のマネジメント**を考える。

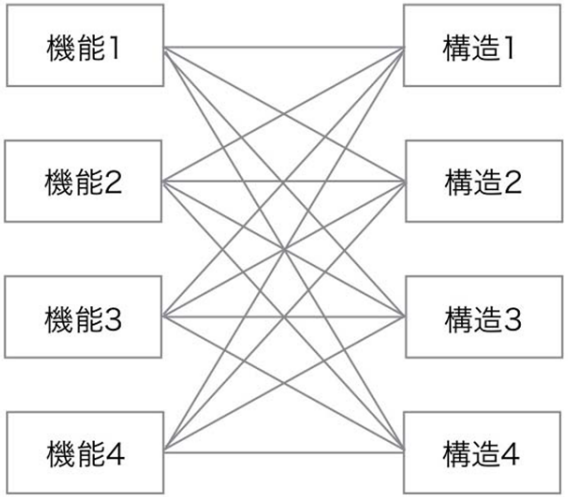
製品アーキテクチャが変化するアーキテクチュラル・イノベーショ ンは、一見すると、機能が変わっていないため、難易度は高くないように見える。しかし実際には、構成要素間の連結方法が変わるため、かなり難易度が高い（Henderson and Clark, 1990）。ここに、イノベーションをうまく達成できる企業と難渋する企業の違いが出現する。その違いは何だろうか. . .



製品アーキテクチャ

K. Ulrich (1995). The role of product architecture in the manufacturing firm, Research Policy, 24, pp419-440

Integral Architecture



機能要素と製品の構造の対応が一対一ではなく、それぞれの要素間のインタフェイスが相互干渉的になっている構造をインテグラルアーキテクチャと呼ぶ。自動車など。**日本企業が得意とする。**

Modular Architecture

機能要素が製品の構造と一対一で対応し、かつそれぞれの要素間のインタフェイスが切り離されている構造をモジュラーアーキテクチャと呼ぶ。パソコンなど。**欧米企業が得意とする。**

注) モジュラーアーキテクチャとその対比概念としてのインテグラルアーキテクチャは要素間のインタフェイスの干渉度合いによって定義されているが、干渉度合いという性質は白と黒のような二分法的に区別できるものではなく、その程度の強さにより連続したスペクトルをなすと捉えるべきである。従ってある特定の製品がどちらのアーキテクチャであるかを一意的に決定することはできず、あくまでもどの程度どちらによっているかを言えるに過ぎない点に注意すべきである。

アーキテクチャルイノベーション

- **Henderson and Clark (1990)** は、製品アーキテクチャが変化するときには、企業の競争力を減退させる可能性があるという論理をはじめて提示した点で注目されるものである。
- **半導体製造装置**のひとつであるフォトリソグラフィ・アラインメント装置の事例から、製品アーキテクチャ変化のもたらす企業組織への影響を議論した。とくに重点を置いて分析を行っているのは、1970 年代に起こった、コンタクト露光方式からプロクシミティ露光方式へのイノベーションである。
- このイノベーションは、全く同じ基幹技術とコンポーネントのもと、各種コンポーネントの技術的相互関係だけが変更されるという**製品アーキテクチャの変更を伴なうイノベーション**であった。
- このイノベーションに直面して、既存企業であるKasper社やCobit 社は大きくシェアを落とすこととなり、新規参入の**キヤノン**が大きく躍進することとなった。

中川功一 (2010)「製品アーキテクチャは組織に何をもたらすのか」
駒大経営研究第41巻第2号より抜粋

設計構造とタスク構造の基本的同型性

- **Baldwin and Clark（2000）**は、製品コンポーネントの相互関係が、人間組織の相互関係を決定することを示した。製品設計がモジュラー化すれば、個別のコンポーネントはそれぞれに別の組織が開発を担当できるようになり、企業間での分業が促進されていく。
- **モジュラー化**が起こると、コンポーネントはそれ単独として機能を発揮するようになり、コンポーネント単独で市場取引可能な状態となる。こうして、モジュラー化はコンポーネント単位で事業の独立を可能にしていき、特定のコンポーネントに特化した、専業特化型企業として事業活動を行いうるようになる。
- 産業全体としてみれば、垂直統合企業は次第に分解され、コンポーネントごとに専業特化した企業群による、**クラスター型構造の産業**へと変貌することになるわけである。

中川功一 (2010)「製品アーキテクチャは組織に何をもたらすのか」
駒大経営研究第41巻第2号より抜粋

アーキテクチャの罠

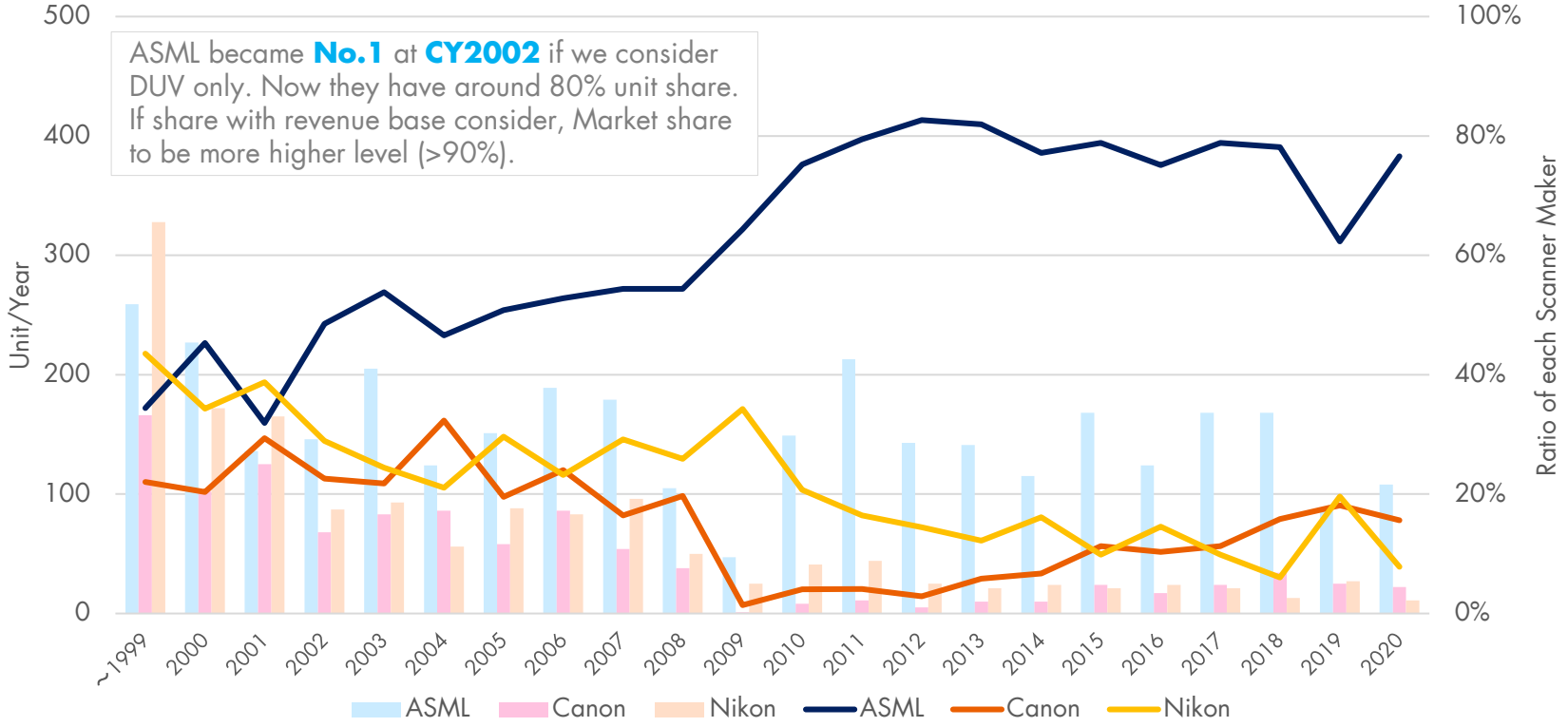
- **楠木・チェスブロウ(2001)**は、製品アーキテクチャは時間を追ってインテグラル型からモジュラー型へ、さらにその後その逆にもシフトする事、その際に組織がその変化に追従できない問題を指摘した。
- 製品アーキテクチャがインテグラル型からモジュラー型へ変化する事に、組織が追従できない問題を**インテグリティの罠**と呼ぶ。
- また、モジュラー型製品を得意とする企業が、イノベーションにより、製品アーキテクチャがインテグラル型に逆シフトした事に、組織が追従できない問題を**モジュラリティの罠**と呼んだ。

各理論からの示唆

藤本隆宏 (2001)「アーキテクチャの産業論」から一部抜粋し、筆者記述

- **アーキテクチャの時間変化**
  - インテグラルからモジュラーへ。
- **優位性**
  - 最初はインテグラルにあるが、最終的にはモジュラーが優位。
- **得意なアーキテクチャ**
  - 日本メーカはインテグラル(すり合わせ)、欧米メーカはモジュラー(組み合わせ)が得意。
- **アーキテクチャル変化**
  - モジュラーからインテグラルにシフトする場合もある。
- **理論からの示唆**
  - インテグラルが得意な、日本メーカが、デュアルステージにおいても、液浸技術においても優位性を発揮するはず…

露光機メーカのシェア


ASML became No.1 at CY2002 if we consider DUV only. Now they have around 80% unit share. If share with revenue base consider, Market share to be more higher level (>90%).
Unit/Year
Ratio of each Scanner Maker
500
400
300
200
100
0
100%
80%
60%
40%
20%
0%
~1999
2000
2001
2002
2003
2004
2005
2006
2007
2008
2009
2010
2011
2012
2013
2014
2015
2016
2017
2018
2019
2020
ASML
Canon
Nikon
ASML
Canon
Nikon

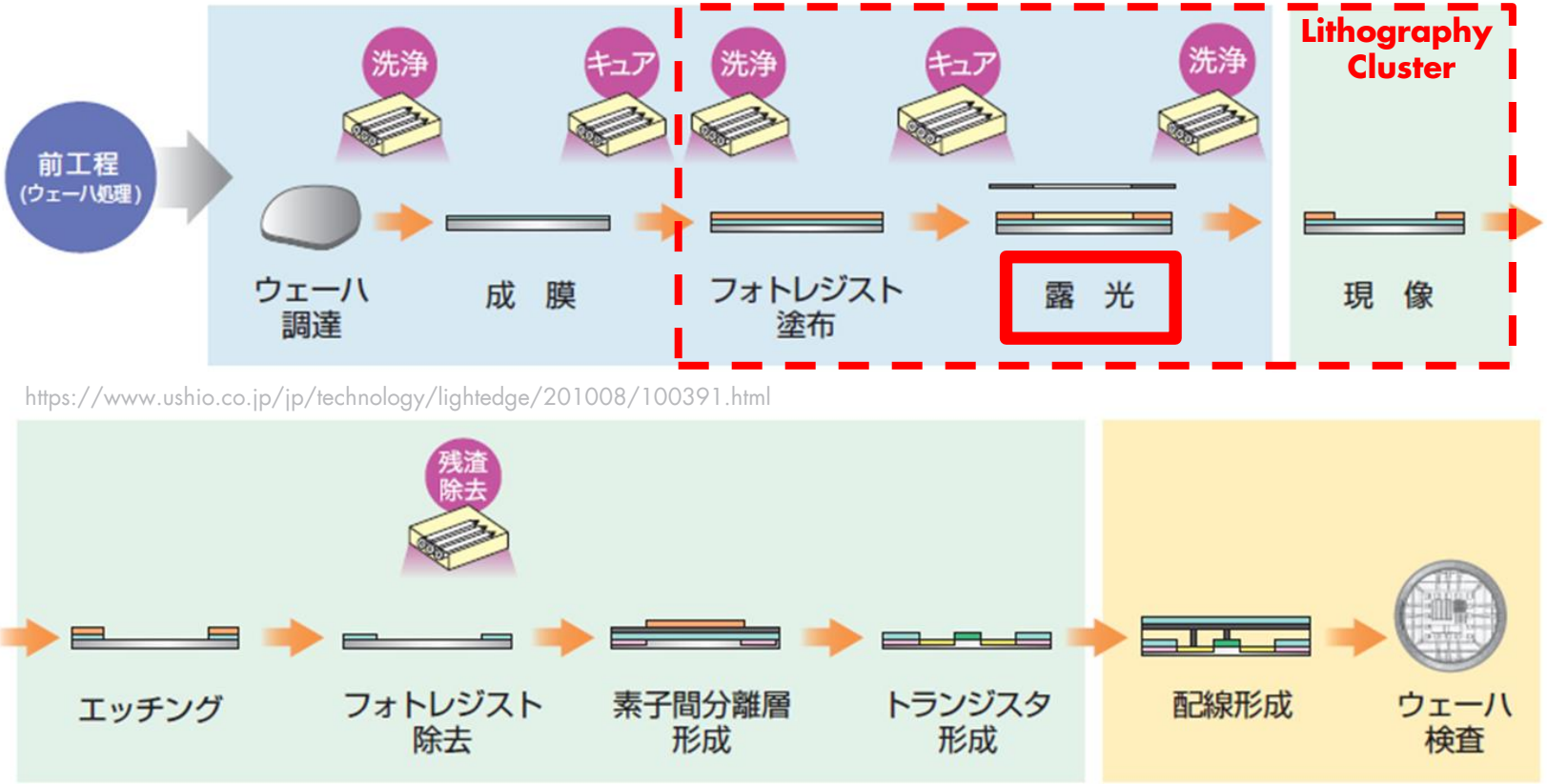
イントロダクション

- 半導体露光機は究極の擦り合わせ型製品であり、日本企業が得意とするはずだった（藤本,2001;沼上, 1990）。
- しかし、ASMLのモジュラー（Interim Modular）は、Nikonのインテグラルを凌駕することとなった（中馬,2004 Chuma,2006）。
- その後、露光機のアーキテクチャは、大きな変化の節目、**アーキテクチュラル・イノベーション**（Henderson and Clark,1990）を迎えた。その際に、ASMLはスムーズにアーキテクチャを変更した。Nikonも同じアーキテクチャを指向したが難渋した。

***アーキテクチュラル・イノベーション（Architectural Innovation）**新しいアーキテクチャ(構成要素間の連結の方法を変えること)を伴うイノベーションは困難である。罠におちる可能性は高い。

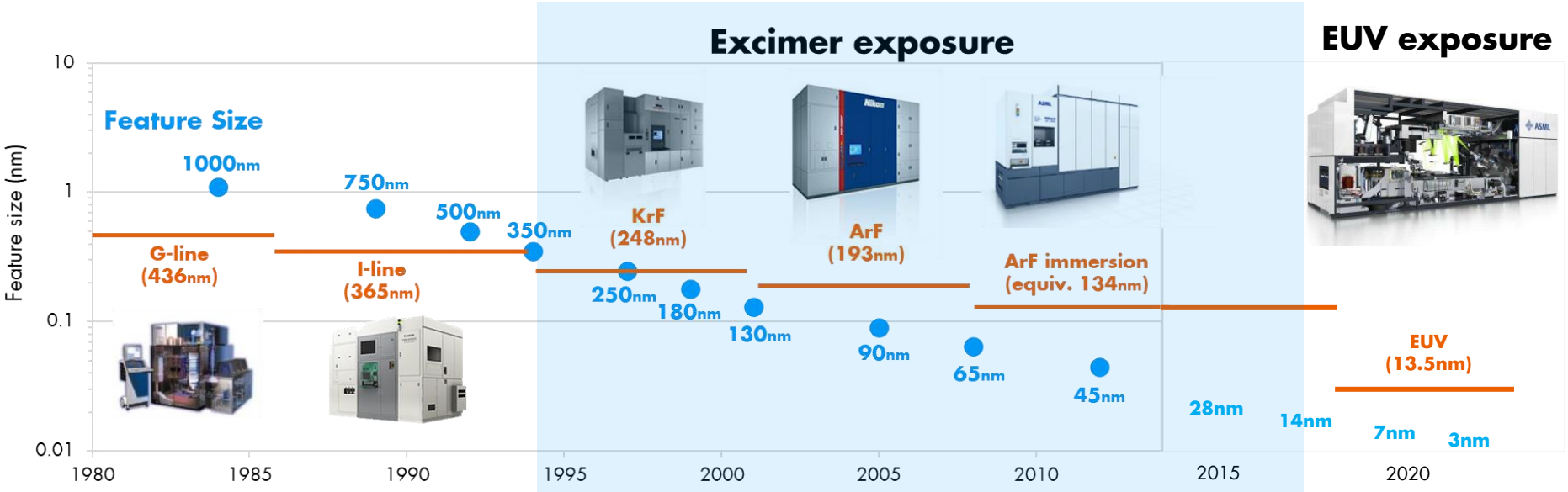
技術的バックグランド

半導体プロセス



https://www.ushio.co.jp/jp/technology/lightedge/201008/100391.html

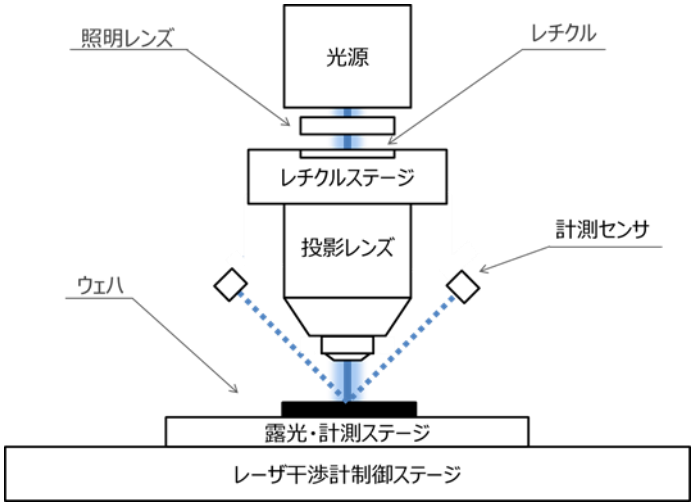
微細化のトレンド

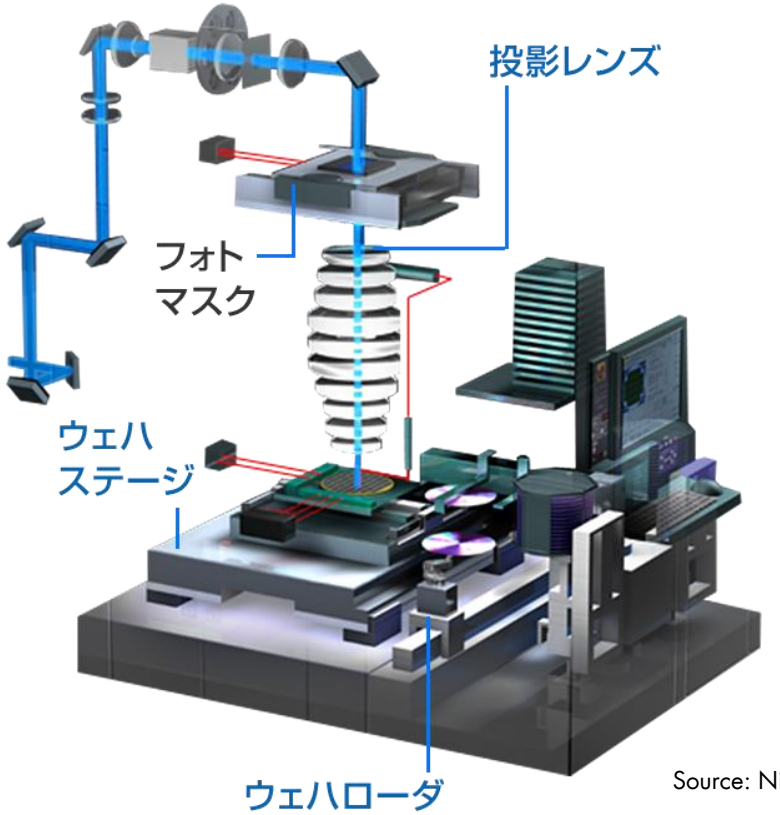


Source: ASML, Nikon, Canon

半導体露光機の基本構造

Exposure tool is a Camera with the highest resolution



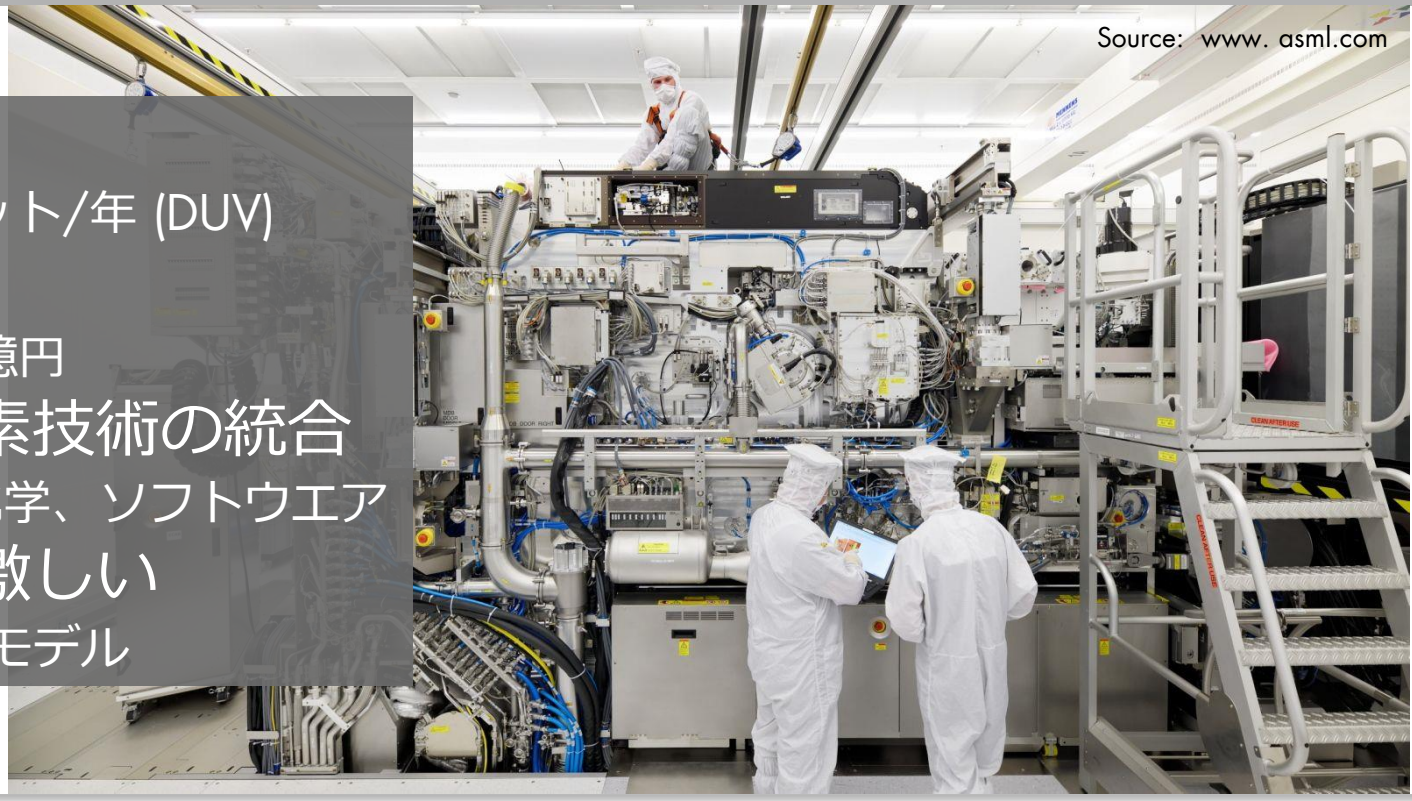


Source: Nikon

露光機の特徴 Features of Exposure

Pure production property

- 限られた市場
  - 200-300 ユニット/年 (DUV)
- 高額
  - 10億円 ~ 200億円
- ハイテクの要素技術の統合
  - 光学、機械、化学、ソフトウエア
- 製品開発競争激しい
  - 2年毎に新しいモデル



Source: www. asml.com

日本の二社@2017

President	Kazuo Ushida
Founded	July 25,1917
Number of Employees	23,859
Total Revenue	980,556M JPY
Headquarters	Tokyo, Japan
Business Scope	Precision Equipment (Semiconductor & FPD Lithography Systems), Imaging Products, Microscopes & Measuring

Source: http://www.nikon.co.jp/

President	Fujio Mitarai
Founded	August 10, 1937
Number of Employees	26,114
Total Revenue	3,731,380 M JPY
Headquarters	Tokyo, Japan
Business Scope	Imaging Systems (cameras, video, printing), Office Products, Industry & Other (incl. Semiconductor & FPD lithography systems)

Source: http://canon.jp/

オランダのASML@2017

President	Peter T.F.M. Wennink
Founded	1984
Number of Employees	10,786
Net Sales	5,245 M EUR
Headquarters	Veldhoven, the Netherlands
Manufacturing/R&D	Connecticut, California, Taiwan, the Netherlands
Business Scope	Lithography & Light Source systems for semiconductor manufacturing, Brion Technologies, Customized Imaging Solutions, Optics

Key Products
(Semiconductor)

EUV Scanner
(NXE-:3300B)

ArF Immersion Scanner
(NXT-:1970 Series)

KrF Scanner
(XT:1950 Series)

Metrology Tool
(YieldStar S-250D)

Source: http://www. asml.com

アーキテクチュラル・イノベーション

GIGAPHOTON

マイクロ固体フォトニクス研究会
『半導体産業と小型集積レーザーとの接点』
March 16th 2022

顧客の推移

Nikon

(Year)

1995～1999		2000～2004		2005～2010	
日本電気	11%	Intel	36%	Intel	46%
東芝	10%	UMC	8%	東芝	19%
Intel	7%	日本電気	6%	PSC	5%
UMC	6%	東芝	5%	エルピーダ	4%
TSMC	5%	ソニー	4%	Rexchip	3%

ASML

(Year)

1995～1999		2000～2004		2005～2010	
Samsung	34%	TSMC	17%	Samsung	29%
Hynix	14%	Samsung	13%	Hynix	12%
TSMC	11%	Micron	11%	TSMC	11%
Micron	6%	SMIC	7%	Intel	6%
AMD	5%	UMC	6%	IM Flash	4%

対照的な設計方針

Nikon

- **注力**
  - Micro-processor
  - intel
  - 複雑なデザイン
- **差別化**
  - チューニング能力
  - 個別要求に合わせた多様なパフォーマンス

個別ニーズ対応

ASML

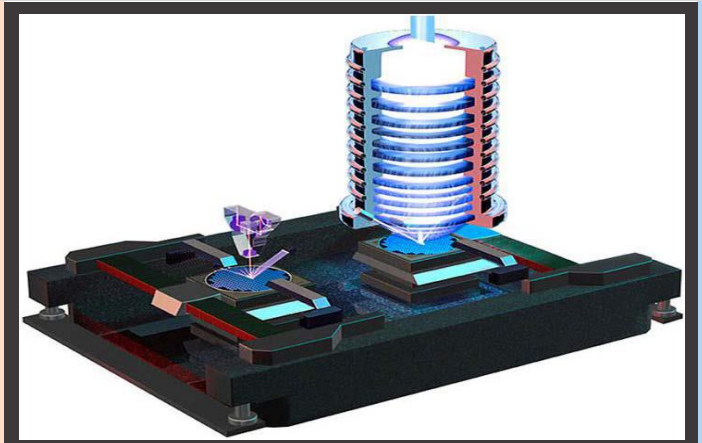
- **注力**
  - DRAM, ASIC
  - Samsung, TSMC
  - 必要に応じた複雑性と処理能力
- **差別化**
  - 使いやすさ
  - 統一されたパフォーマンス

汎用製品を目指す

新しいアーキテクチャ

Nikon

- **Tandem Stage**
  - 2005 S609 (Immersion)
  - 2006 S610 (Immersion)
  - 2008 S620 (Immersion)
- Development was carried out around 2004
- Applied to immersion scanner only



The revolutionary design of the **DUAL STAGE** enables the exposure of one wafer and the alignment of the next wafer to take place in parallel, virtually eliminating overhead time and allowing continuous patterning of wafers for maximum productivity.

同時に２つのウェハステージを扱うツインスキャン技術

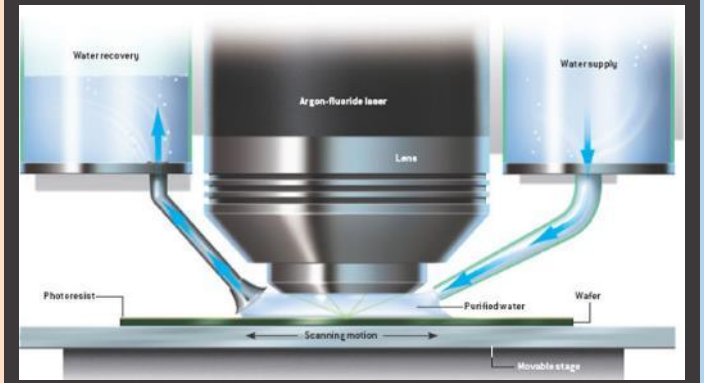
ASML

- **TWINSCAN**
  - 2001 1st TWINSCAN shipment to **TSMC**
  - 2001 AT1100 (ArF)
  - 2002 AT750 (KrF)
  - 2003 TWINSCAN XT platform
  - 2006 XT1700i(Immersion)
  - 2008 TWINSCAN NXT platform
  - 2009 NXT1950i(Immersion)
- Development was carried out around 2000
- Applied to all scanner wavelengths
- 3 generations until 2010

新しいアーキテクチャ

Nikon

- **Local Fill Nozzle**
  - 2005 S609(Immersion)
  - 2006 S610(Immersion)
  - 2008 S620(Immersion)
- Development was carried out around 2004
- 3 generations until 2010



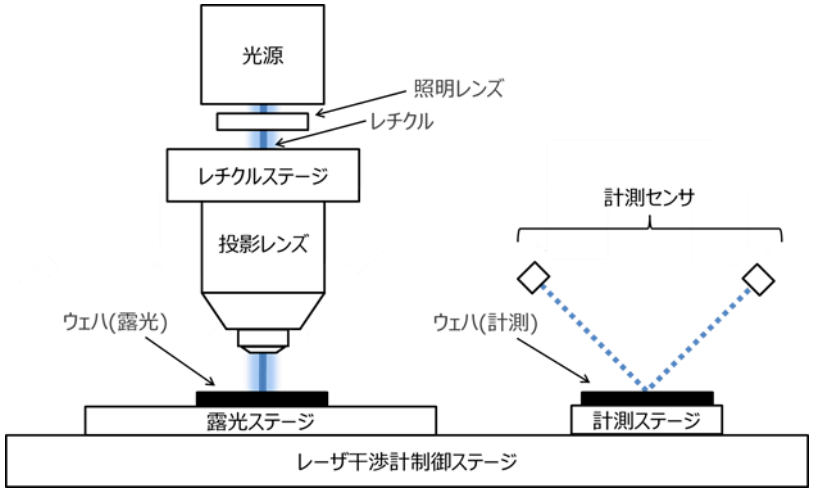
IMMERSION LITHOGRAPHY works by channeling water through the gap between the imaging machine and the photoresist that coats a semiconductor wafer, improving resolution of chip features and depth of focus.

解像度を向上させる液侵技術

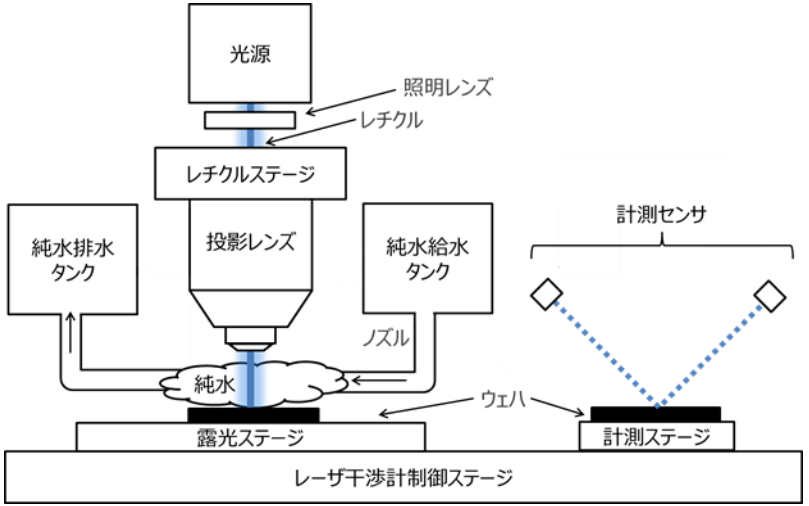
ASML

- **Immersion Hood**
  - 2004 **1st Immersion shipment to TSMC XT1250i (proto)**
  - 2005 XT1400i (proto)
  - 2006 XT1700i
  - 2007 XT1900i
  - 2008 XT1950i
  - 2009 NXT1950i
- Development was carried out around 2003
- 6 generations until 2010

アーキテクチャ変化



デュアルステージの構造



液浸露光機の構造

構成要素の担い手

- ASMLは構成要素(コンポーネント)のすべてを外注

構成要素	Nikon	ASML
投影レンズ系	ほぼ自社	Zeiss (Germany)
照明系	自社	Zeiss
制御ステージ	自社	Philips(Netherland)
光源	Cymer(US), ギガフォトン(Japan)	Cymer(US), ギガフォトン(Japan)
ボディ	自社	Philips
アライメント系	自社	Zeiss, Philips, Agilent(US)
ソフトウエア	自社	自社

(中馬,2004を修正)

顧客と製品アーキテクチャー

コンポーネント知識よりもアーキテクチュラル知識が重要
能力の高いユーザーを顧客にもつと、メーカー側に知識が蓄積されない

		Nikon	ASML
顧客対応	注力する顧客	Intel, 東芝（先発組）	Samsung, TSMC, Hynix（後発組）
	顧客の要求水準	高く厳しい	先発組よりもあまい
製品アーキテクチャー	自社内のコア技術	レンズ	ソフトウエア（システム管理）
	製品アーキテクチャー変化	インテグラルからモジュラー	モジュラーからモジュラー
	コンポーネント知識	ほぼ保有（外注は光源のみ）	持っていない（ソフトウエア以外すべて外注）
	アーキテクチュラル知識（納品時の調整能力）	弱い (調整能力をもった顧客に注力したため)	保有 (納品時の調整を行う。顧客は調整しなくてもよい。)

アライアンス

学会論文の著者分類

*SPIE : An international society advancing interdisciplinary approach to the science and application of light.

Keywords: *Nikon & scanners, ASML & scanners* (from 1990 – 2010)

Nikon
(51 papers total)

- **37%** … Ratio of stand alone paper is high.
- **1/3** … Number of Collaboration paper is limited.
- **Equal** … Number of Collaboration and Other firms paper.

ASML
(117 papers total)

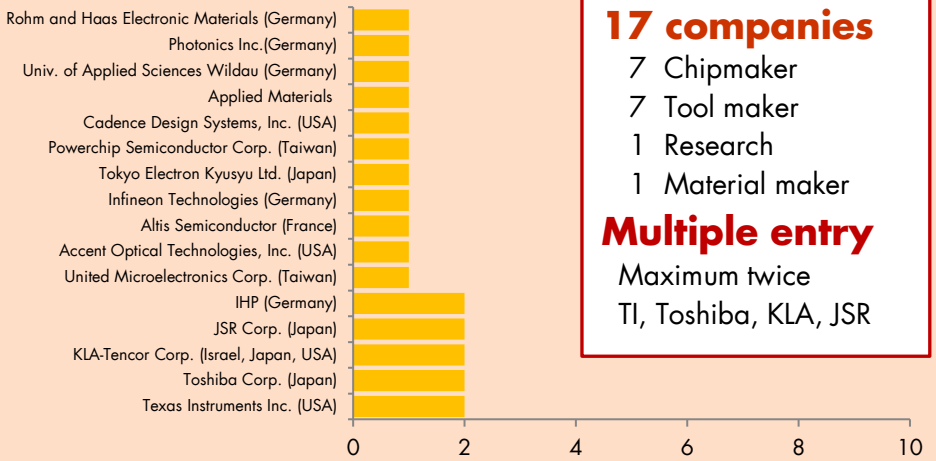
- **42%** … Ratio of Collaboration paper is high.
- **1/2** … Number of Stand alone paper is limited.
- **Equal** … Number of Collaboration and other firms paper.

Nikonは単独発表が多く、ASMLは単独で発表することが稀である。
ASMLに関係する論文を、外部企業が単独に発表することは、自律的に開発分担したことを示す。

共著論文 Collaboration Paper

Number of company which corroborated exposure

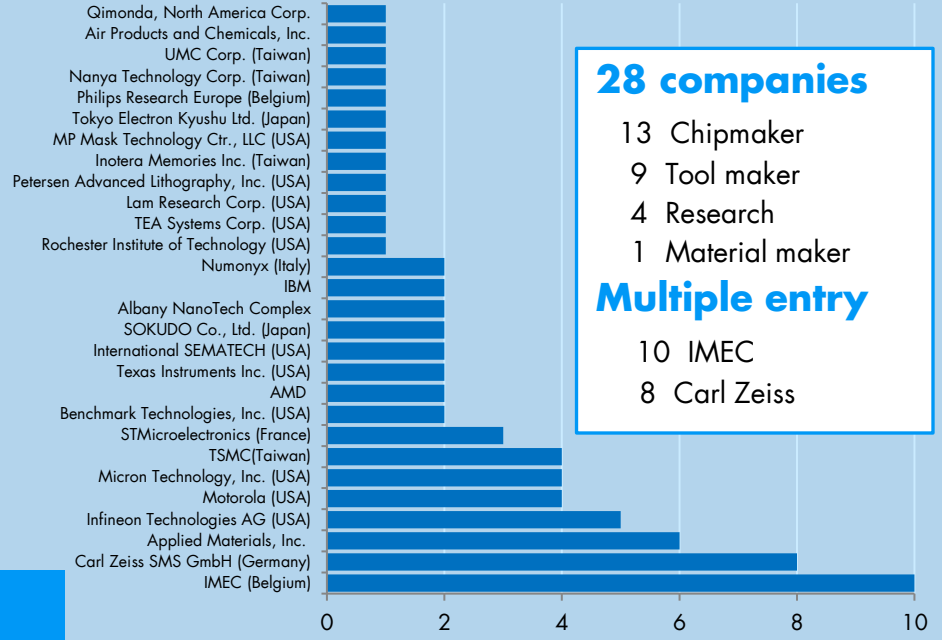
Nikon
(15 papers total)



17 companies
- 7 Chipmaker
- 7 Tool maker
- 1 Research
- 1 Material maker

Multiple entry
Maximum twice
TI, Toshiba, KLA, JSR

ASML
(49 papers total)



28 companies
- 13 Chipmaker
- 9 Tool maker
- 4 Research
- 1 Material maker

Multiple entry
- 10 IMEC
- 8 Carl Zeiss

Nikonは複数回(2回)の共同発表が5社と少ない。
ASMLはIMECやCarl Zeissと共同発表が極めて多い。

アライアンス・パートナー

Nikon

- 密接なアライアンスパートナー不在

  顧客、検査機器・消耗品メーカと1～2回の共著論文

- 必要に応じて、個別対応か？

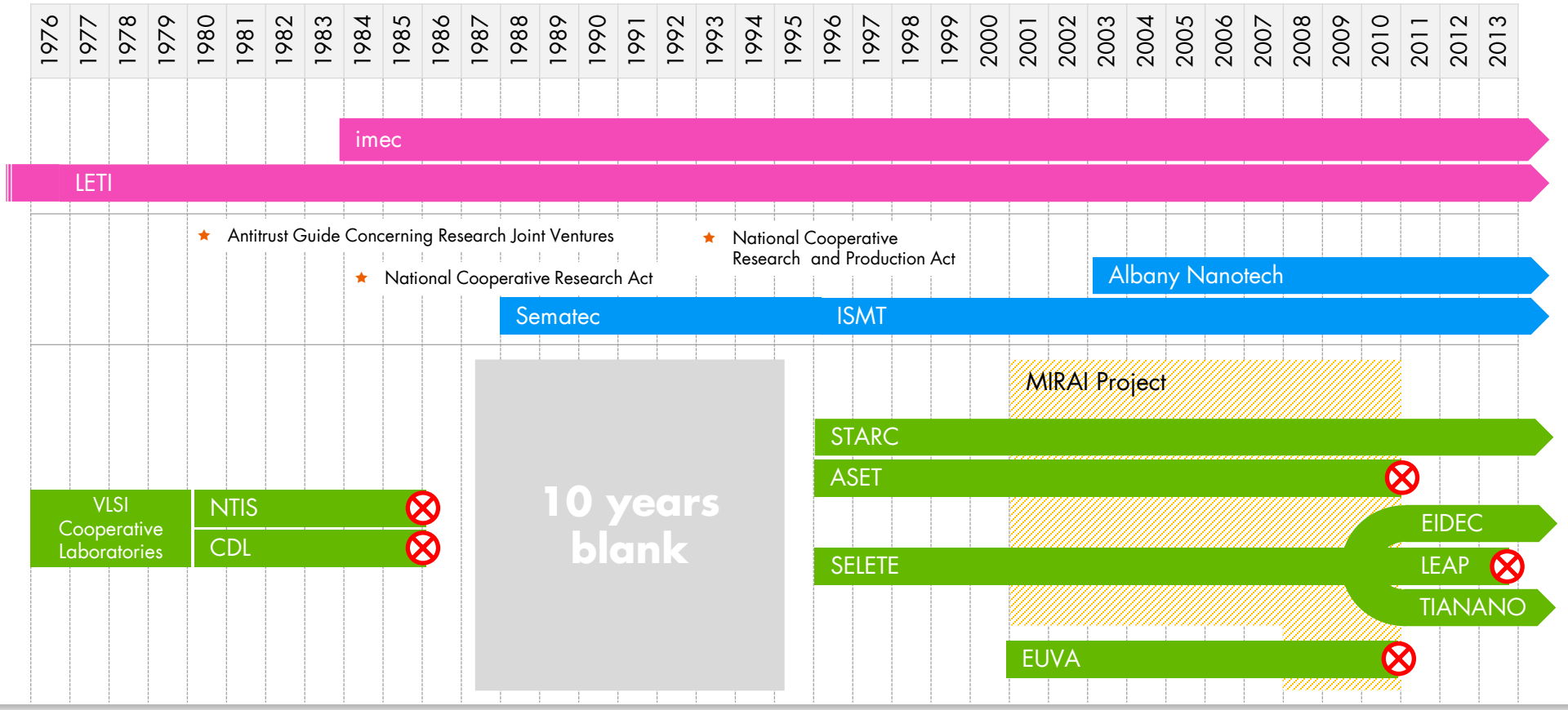
ASML

- 密接なアライアンスパートナー

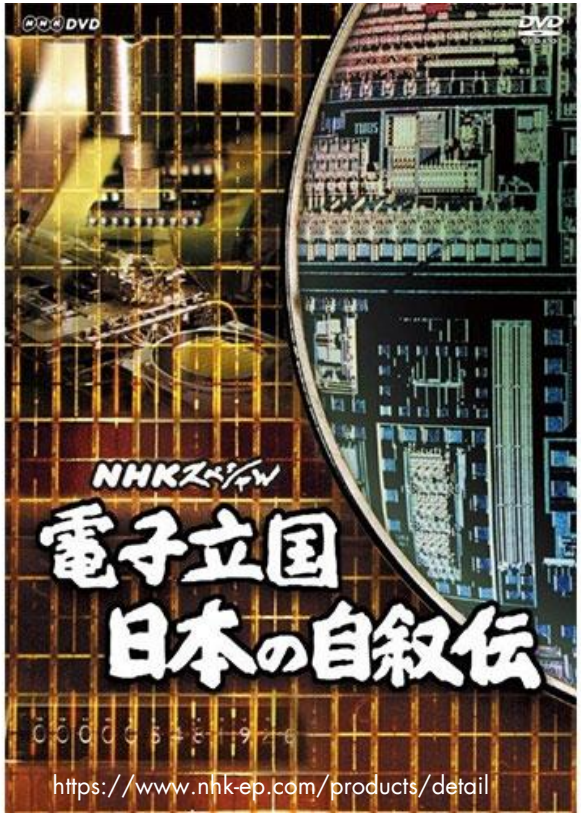
  コンソーシアム、コンポーネント提供企業、露光以外の製造装置企業と多い

- 個別の顧客対応よりも、汎用的プラットフォームづくりを重視

半導体コンソーシアムの歴史



半導体立国日本の自叙伝



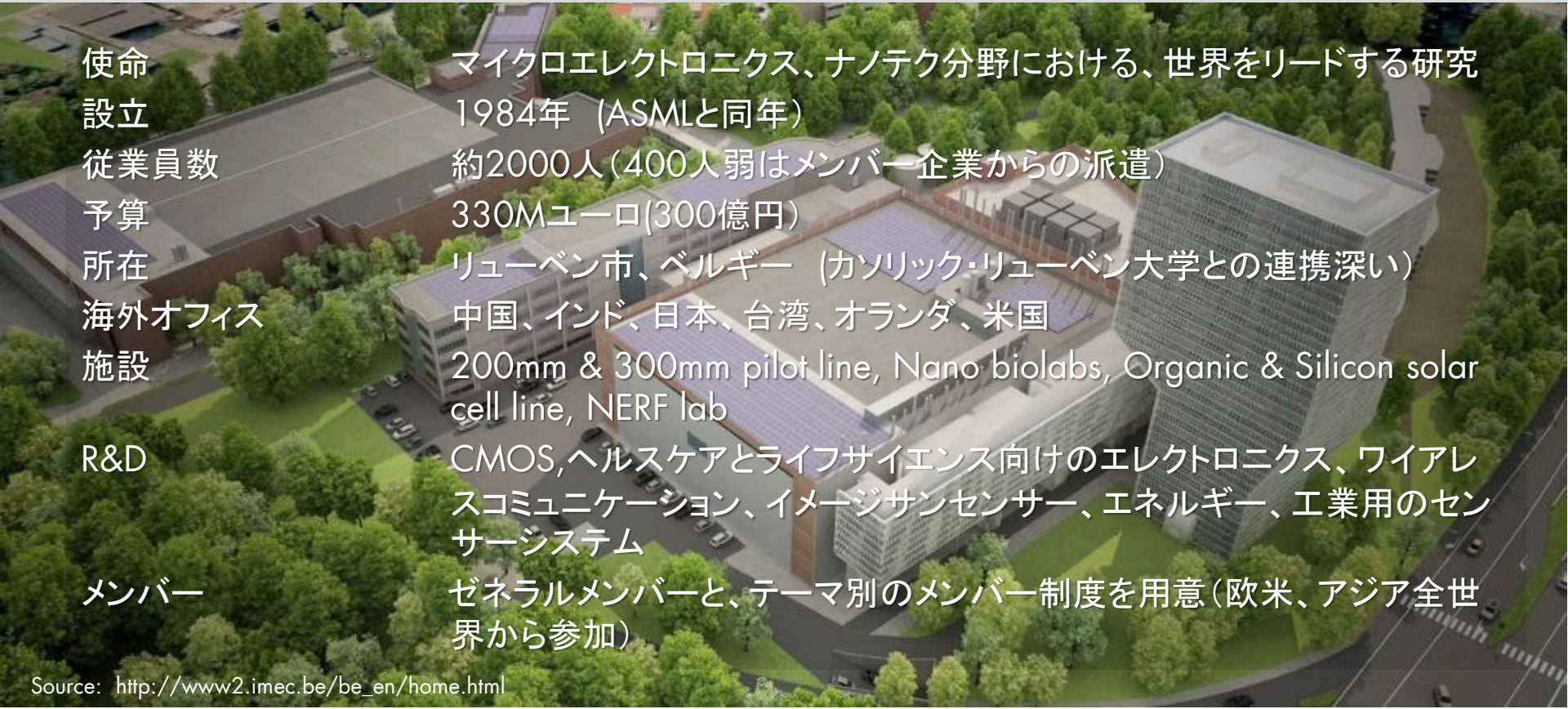
戦後間もなくアメリカでトランジスタが発明されたところから、集積回路（IC）の開発とLSI化、日本で昭和40年代から50年代に繰り広げられた電卓市場を巡る激しいシェア争い（いわゆる「電卓戦争」）、そして世界初の1チップMPUであるIntel 4004の開発秘話など、1980年代末までの日米における半導体開発の歴史を追った作品である。

本番組の冒頭では、当時半導体生産額のシェアが全盛期だった日本が、外国、中でも米国の技術を模倣して成り上がったと揶揄される事に対して、果たして真似だけでここまでできるだろうか、米国を凌駕するところまでゆくだろうか、或いは真似ならば他の国でもできるだろうが、その中で日本は何故成功したのか、それを突き詰めたいとしている。

全6回ともNHKアーカイブスやNHKオンデマンドで視聴可能となっている。

https://ja.wikipedia.org/wiki/%E9%9B%BB%E5%AD%90%E7%AB%8B%E5%9B%BD%E6%97%A5%E6%9C%AC%E3%81%AE%E8%87%AA%E5%8F%99%E4%BC%9D

imec の概要



使命	マイクロエレクトロニクス、ナノテク分野における、世界をリードする研究
設立	1984年　(ASMLと同年)
従業員数	約2000人（400人弱はメンバー企業からの派遣）
予算	330Mユーロ(300億円)
所在	リューベン市、ベルギー　(カソリック・リューベン大学との連携深い)
海外オフィス	中国、インド、日本、台湾、オランダ、米国
施設	200mm & 300mm pilot line, Nano biolabs, Organic & Silicon solar cell line, NERF lab
R&D	CMOS,ヘルスケアとライフサイエンス向けのエレクトロニクス、ワイアレスコミュニケーション、イメージサンセンサー、エネルギー、工業用のセンサーシステム
メンバー	ゼネラルメンバーと、テーマ別のメンバー制度を用意（欧米、アジア全世界から参加）

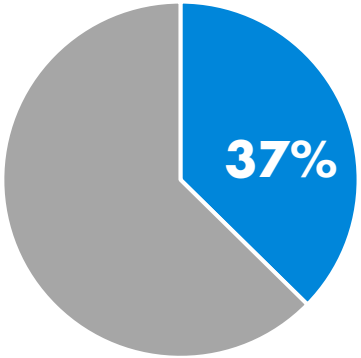
Source: http://www2.imec.be/be_en/home.html

Imec インタビュー

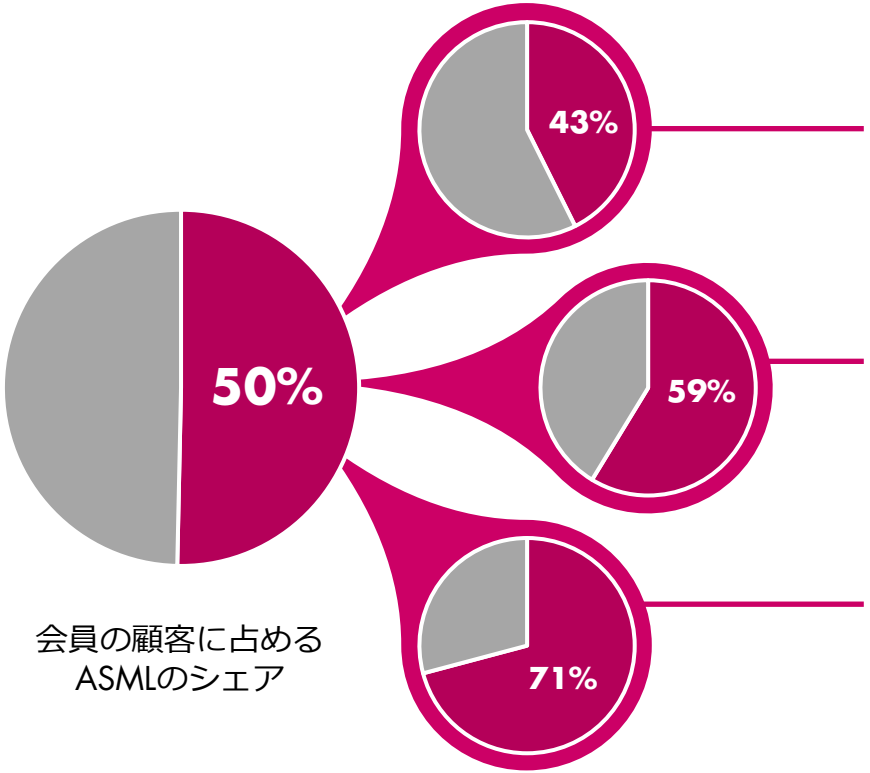
- 主要デバイスメーカはビジネスの優位性を保つために、他社よりも早く新しい製造装置を買い求め始めた。
- imecは、二番手クラスのデバイスメーカーと手を組んでオープン・イノベーションすることに狙いを定めた。(当時のTSMC)
- 技術が複雑化するにしたがい、隣の国のASMLを活用することが理にかなっていた。
- やがて、デバイスメーカーが、imecの存在価値を認識して、オープン・イノベーションのプログラムに参画するようになった。

ASMLのベネフィット　imec contribution to ASML

From the perspective of acquired member company customers



非会員の顧客に占める
ASMLのシェア



会員の顧客に占める
ASMLのシェア

Number of Units

648/1520
(1999-2003)
KrF

478/814
(2004-2007)
ArF Dry

231/326
(2008-2010)
ArF Imm.

結論

結論ーASMLはなぜ成功したのか

Q1 Why was ASML able to avoid the Trap

- デュアルステージ技術 (2001)と、液浸技術(2005)という2つのアーキテクチャ変更の罠を回避できた理由は、
  - 構成要素を内製しないで、システムインテグレーターの役割に集中してきたため、サプライヤーへの仕様指示と性能評価は客観的である。
  - コンソーシアムのプログラムを介して、顧客や関係する企業と連携した。
  - 顧客はTSMC等後発組であり、最終的調整と顧客サポートの機会が多い。

- 新しいアーキテクチャが市場に浸透した (2008年以降)理由は、
  - 納品時の不具合を改善する機会が多く、アーキテクチュラル知識を強化させた。
  - 多くの顧客が使いやすい、汎用的プラットフォームを確立できた。

結論ーNikonはなぜ難渋したのか

Q2 Why did Nikon fall into the Trap

- デュアルステージ技術 (2001)と、液浸技術(2005)という2つのアーキテクチャ変更の罠に難渋した理由は、
  - 構成要素をほぼ内製し、外注するメーカと対等な関係を構築できない。
  - コンソーシアムのプログラムはなく、中立的な外部との連携ができない。
  - 顧客はインテル等先発組であり、最終的調整や顧客サポートの機会が少ない。

- 新しいアーキテクチャが市場に浸透しなかった (2008年以降)理由は、
  - 納品時の不具合を直す機会が少なく、アーキテクチュラル知識の強化に失敗した。カスタマイズにこだわり、汎用的プラットフォームを確立できなかった。

結論ー内製するNikonがなぜ、難渋したのか？

ほとんど内製しているにも関わらず、アーキテクチャの確立に難渋したのは、

- ほとんどを内製しているが故に、過去のアーキテクチャに拘りやすい。
- 唯一外注しているレーザと、内製レンズの擦り合わせの際に、レンズ性能を引き出すことを優先してしまう。
- アナログカメラ、双眼鏡、顕微鏡、望遠鏡、デジタルカメラと続く製品開発の歴史を持つ以上、レンズは象徴的製品

アーキテクチュラル知識の確定に時間がかかった。

組織体制と運営の違い

ASMLのSEはアーキテクチャー決定、コスト、スケジュールまで責任おう

		Nikon	ASML
組織マネジメント	基本コンセプト	開発部長と顧客が決める	imec内のテーマ別組織と連携して決める
	組織分類	機能別組織	マトリックス組織
	組織体制	開発、生産、技術サービス、情報分析別の機能別組織	製品マネジャー、SE、マーケテイングマネジャーの3人が統括する。製品マネジャーの下に、各構成要素があり、サプライヤーに設計仕様を送り、性能テストをする。
	リーダーシップ	不在（有事には開発がリードする）	プロダクトマネジャーとSEがリーダー
	SEの役割	ソフトウエアプログラミングの統括	スケジュール、コスト含む全てを統括し、コンセプト、　システム設計、詳細設計
サプライヤーマネジメント	仕様決定と性能評価	ドキュメントは詳細ではない	詳細なドキュメントを提出させ、更新していく
	情報開示	限定的	研究開発費は互いに開示、収益性は共同責任
	リードタイム管理	一次サプライヤーまで	2次サプライヤーレベルまで掘り下げた管理

GIGAPHOTON

Thank You

マイクロ固体フォトニクス研究会
『半導体産業と小型集積レーザーとの接点』
March 16th 2022