

## ハイパワーフォトンが創る世界

池上, 浩

九州大学大学院システム情報科学研究院ギガフォトンNext GLP共同研究部門 : 准教授

藤本, 准一

ギガフォトン株式会社技術統括部 : 部長

<https://hdl.handle.net/2324/1456174>

---

出版情報 : 九州大学大学院システム情報科学府・研究院先端サマーセミナー. 2014, 2014-08-06

バージョン :

権利関係 :



九州大学 公開講座  
先端サマーセミナー2014  
システム情報科学による安心の社会基盤

# ハイパワーフォトンが創る世界

九州大学 大学院システム情報科学研究院  
ギガフォトンNext GLP共同研究部門  
准教授 池上 浩

ギガフォトン株式会社 技術統括部  
部長 藤本 准一

# 本日の内容

## 1. ギガフトンNext GLP共同研究部門とは

## 2. レーザープロセッシング用ハイパワーレーザーの特徴

- ✓ 連続ファイバーレーザー
- ✓ 超短パルスレーザー
- ✓ エキシマレーザー

## 3. 半導体産業とレーザー開発

## 4. 新しい未来を創るハイパワーレーザー

- ✓ ギガフトンNext GLP共同研究部門での取り組み

## 5. 次世代ハイパワーフォトンが創る世界

- ✓ 極短紫外(EUV)光源の開発

# 九州大学 共同研究部門



九州大学



九州大学



九州大学



九州大学

高度な研究推進  
優秀な人材  
幅広いネットワーク  
質の高い情報

九州大学 大学院システム情報科学研究院

## ギガフotonNext GLP 共同研究部門

### 次世代ガスレーザー応用技術の開発

- 研究段階から高出力で安定性 信頼性の高い量産レーザーを使用
- 大気 液中 ガス中雰囲気でのレーザー照射による幅広いプロセス検証
- 物性分析 機構解明結果を応用技術開発にフィードバック
- 製造工程のインテグレーションを考慮したレーザープロセスを提案

- 高速 微細 低損傷加工
- 薄膜結晶化
- クリーニング
- 薄膜焼成
- 新規材料生成
- 表面改質
- 欠陥不活性化など

#### 人材提供 研究推進

准教授 : 池上 浩  
特任教授 : 栗原啓志郎  
研究員 : 渡邊陽介  
研究員 : 大久保智幸

#### 装置 資金提供

量産ガスレーザーを提供  
KrFエキシマ、ArFエキシマ  
F<sub>2</sub>レーザー  
ナノ秒パルスCO<sub>2</sub>レーザー

# GIGAPHOTON

## ギガフoton株式会社

リソグラフィー用光源の  
ガスレーザーを製造する  
世界トップクラスのメーカー

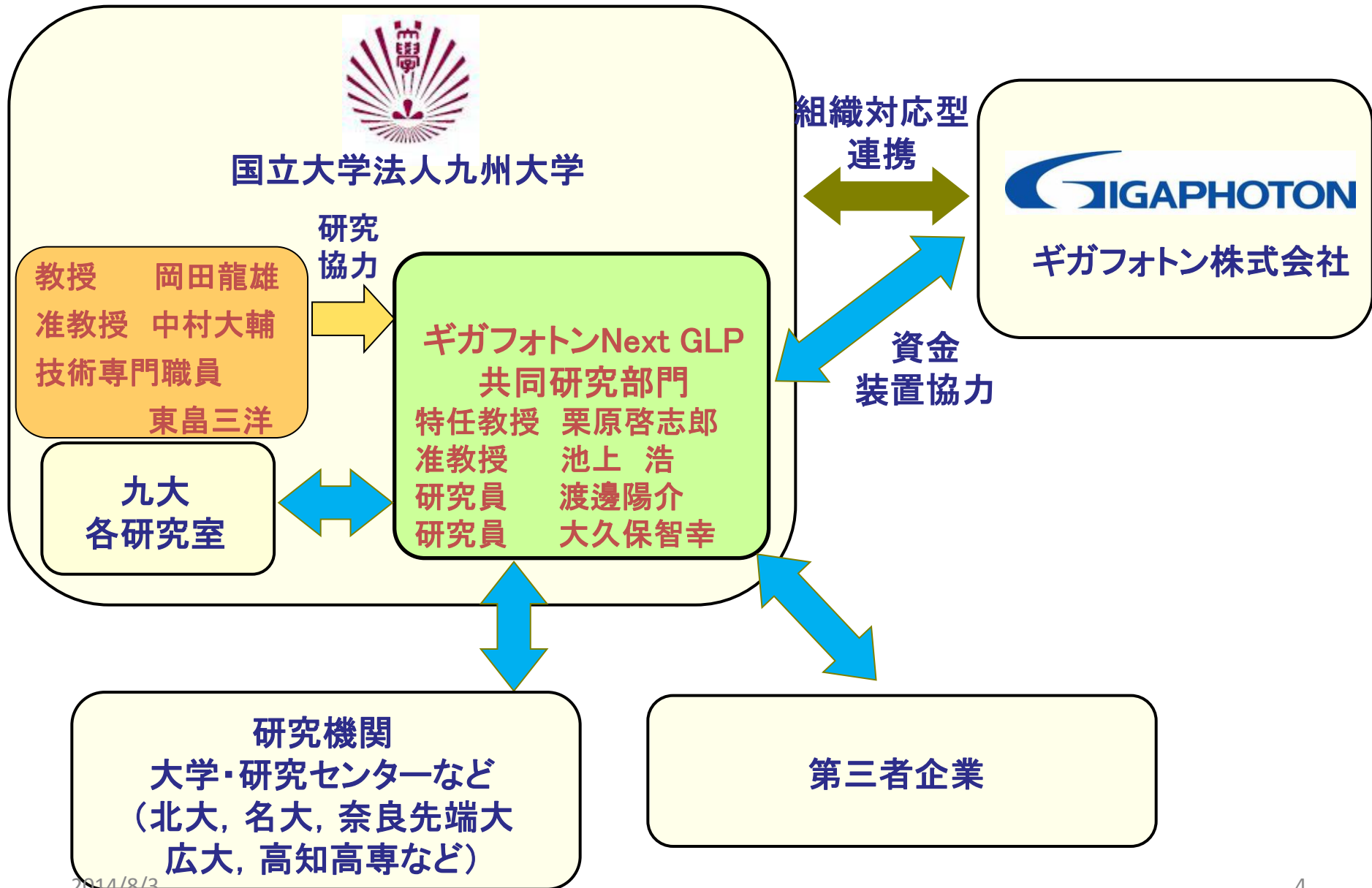
優れた技術  
信頼性の高い製品



#### 共同研究部門特色

組織	あり
活動	研究
専任教員	あり
経費	共同研究費
成果物還元	あり

# 部門体制



# 活動方針

## 要素研究

単独・九大(岡田研)

- ✓ 知的財産獲得
- ✓ 次世代技術開発

## シーズ育成

- ✓ 新たなデバイスプロセス提案
- ✓ 技術相談・支援
- ✓ 産-学-産, 産-学-学連携推進

## デバイス応用

大学との共同研究

- ✓ 実証研究
- ✓ 対外発表推進
- ✓ 広報活動

## 実用化検討

企業との共同研究

- ✓ 秘密情報管理
- ✓ 知的財産戦略

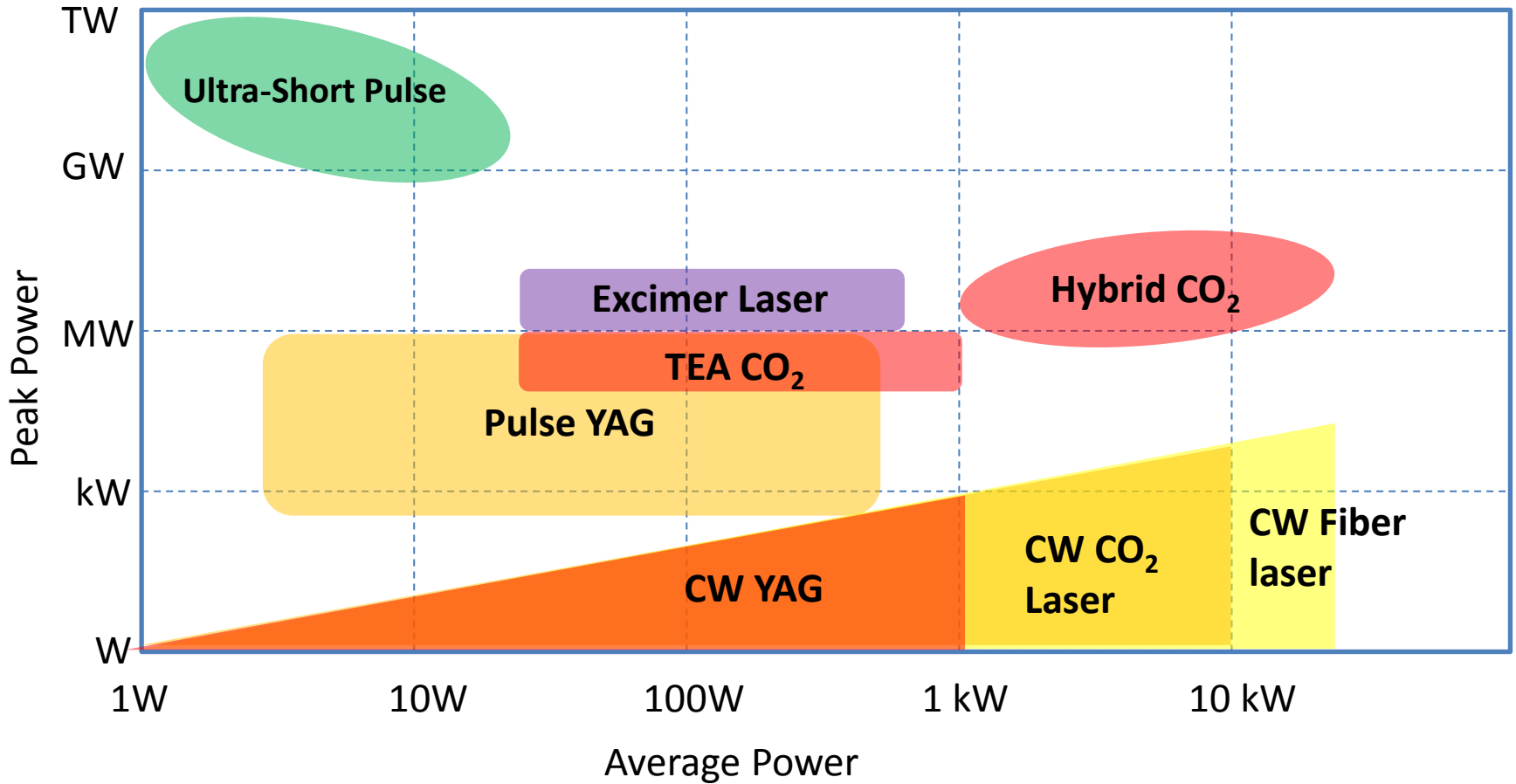
## ニーズ把握

- ✓ 要素プロセス開発
- ✓ レーザー開発

# 本日の内容

1. ギガフトンNext GLP共同研究部門とは
2. レーザープロセッシング用ハイパワーレーザーの特徴
  - ✓ 連続ファイバーレーザー
  - ✓ 超短パルスレーザー
  - ✓ エキシマレーザー
3. 半導体産業とレーザー開発
4. 新しい未来を創るハイパワーレーザー
  - ✓ ギガフトンNext GLP共同研究部門での取り組み
5. 次世代ハイパワーフォトンが創る世界
  - ✓ 極短紫外(EUV)光源の開発

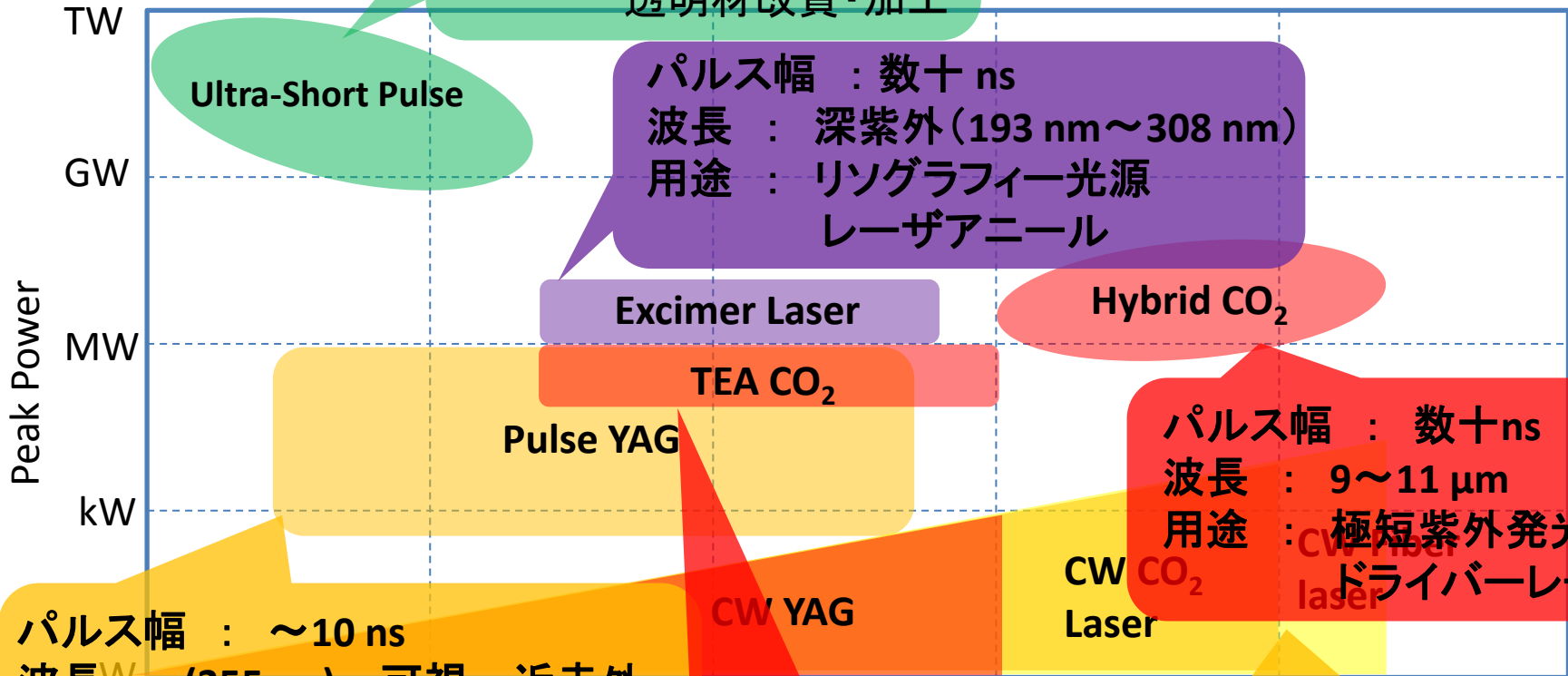
# レーザープロセッシング用ハイパワーレーザー





# 各レーザーの主な用途

パルス幅 : 100 fs ~ 数ps  
 波長 : (可視) ~ 近赤外  
 用途 : 超低損傷加工  
 透明材改質・加工

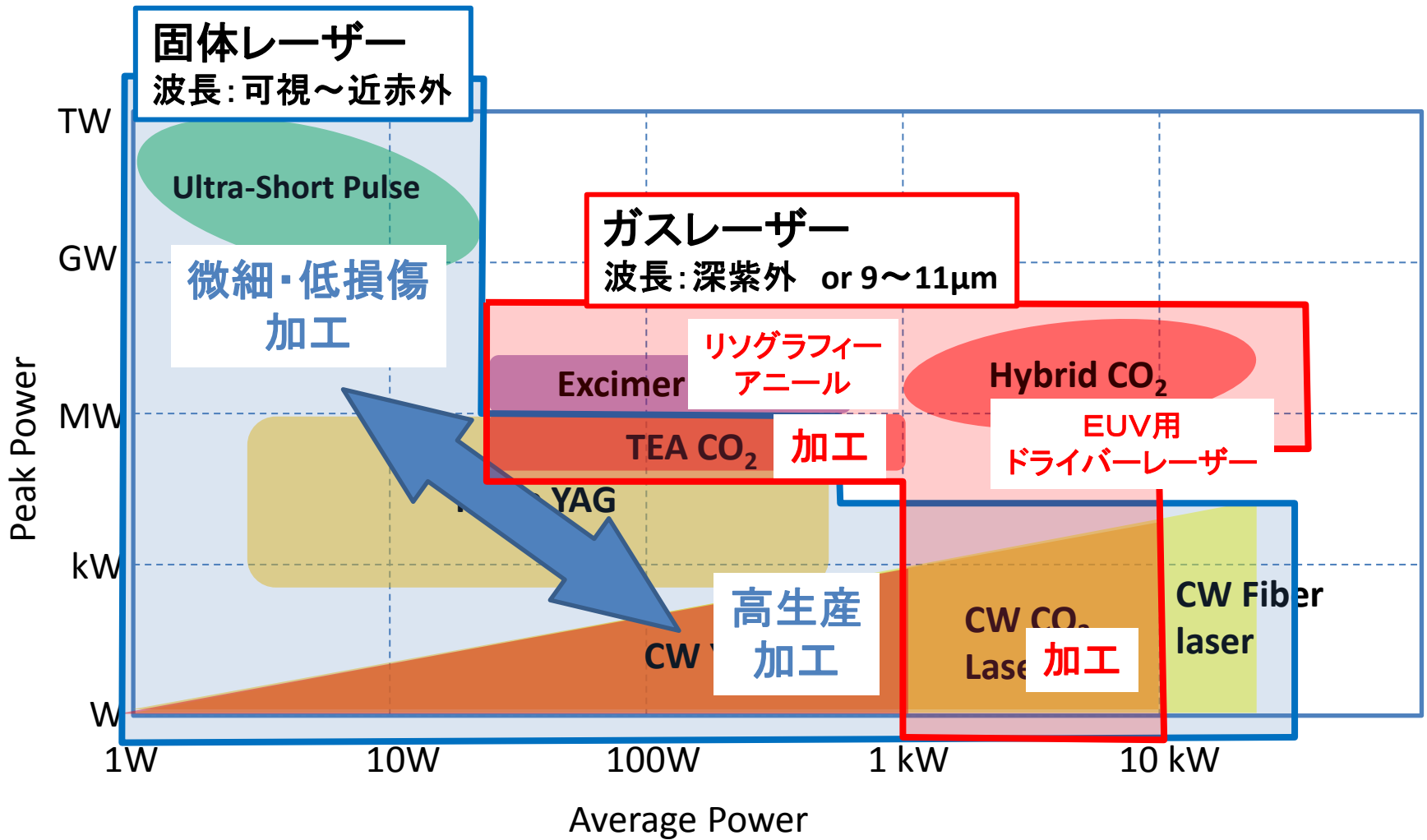


パルス幅 : ~10 ns  
 波長 : (355nm) ~ 可視 ~ 近赤外  
 用途 : 微細加工 (金属, 樹脂, 半導体など)

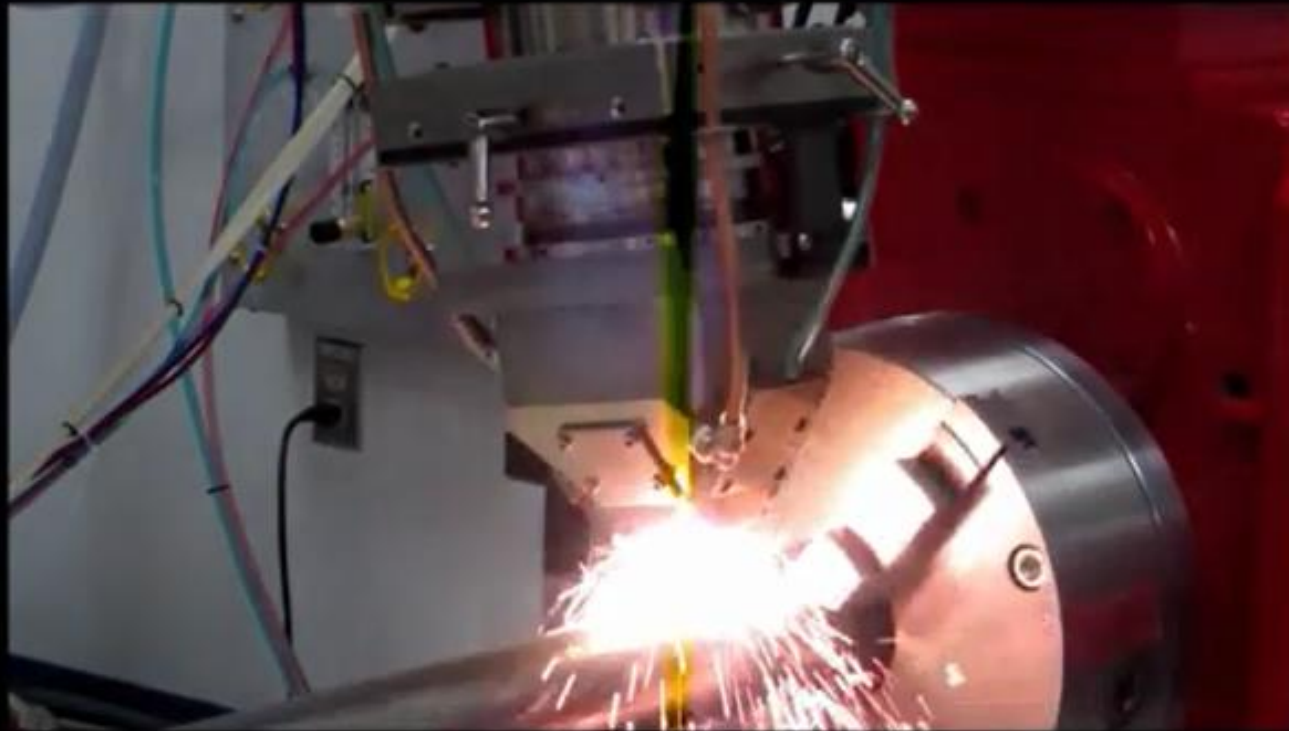
パルス幅 : 数百 ns ~ 数 μs  
 波長 : 9 ~ 11 μm  
 用途 : 樹脂材高速加工 (プリント基板加工など)

パルス幅 : 数十 ns  
 波長 : 9 ~ 11 μm  
 用途 : 極短紫外発光  
 ドライバレーザ

# 固体レーザー, ガスレーザーの主な用途別分類

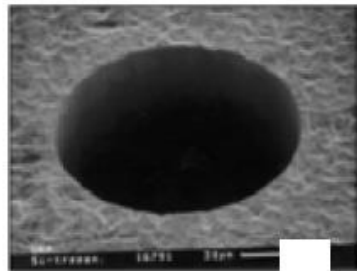


# 連続ファイバーレーザーの加工例

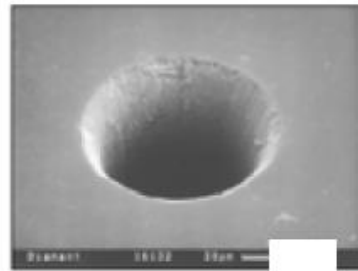


~0.5m/min processing speed

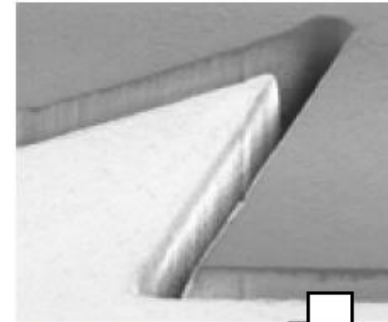
# 超短パルスレーザー加工例



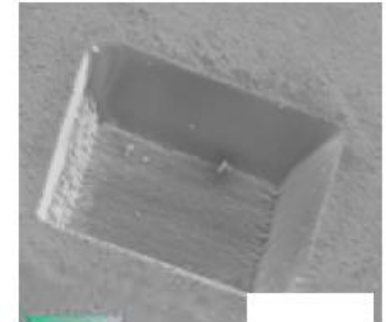
(a) Silicon 30um



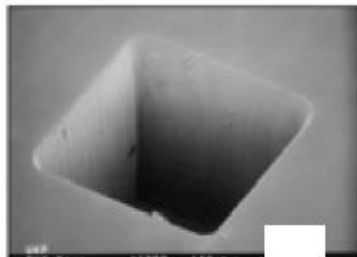
(b) Diamond 30um



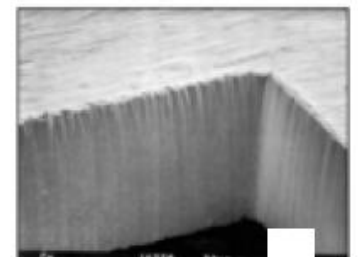
(h) Glass 40um



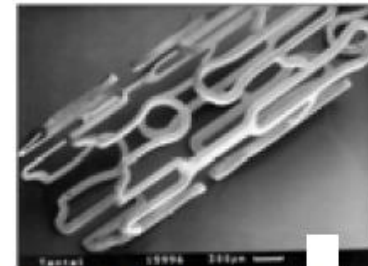
(i) SiC 250um



(c) Glass 100um



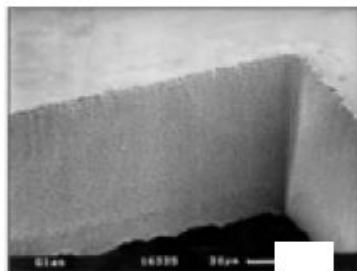
(d) Copper 30um



(j) Tantalum 300um



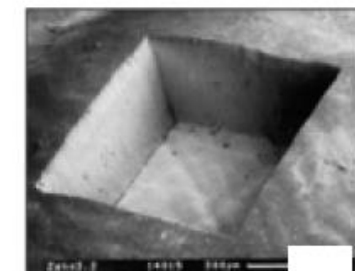
(k) Amorphous metal 30um



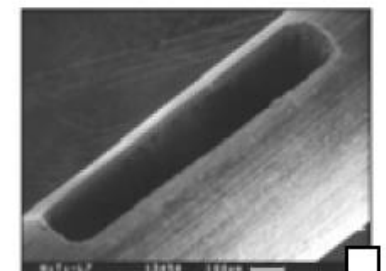
(e) Fused silica 30um



(f) Tungsten 100um



(l) Tooth 100um



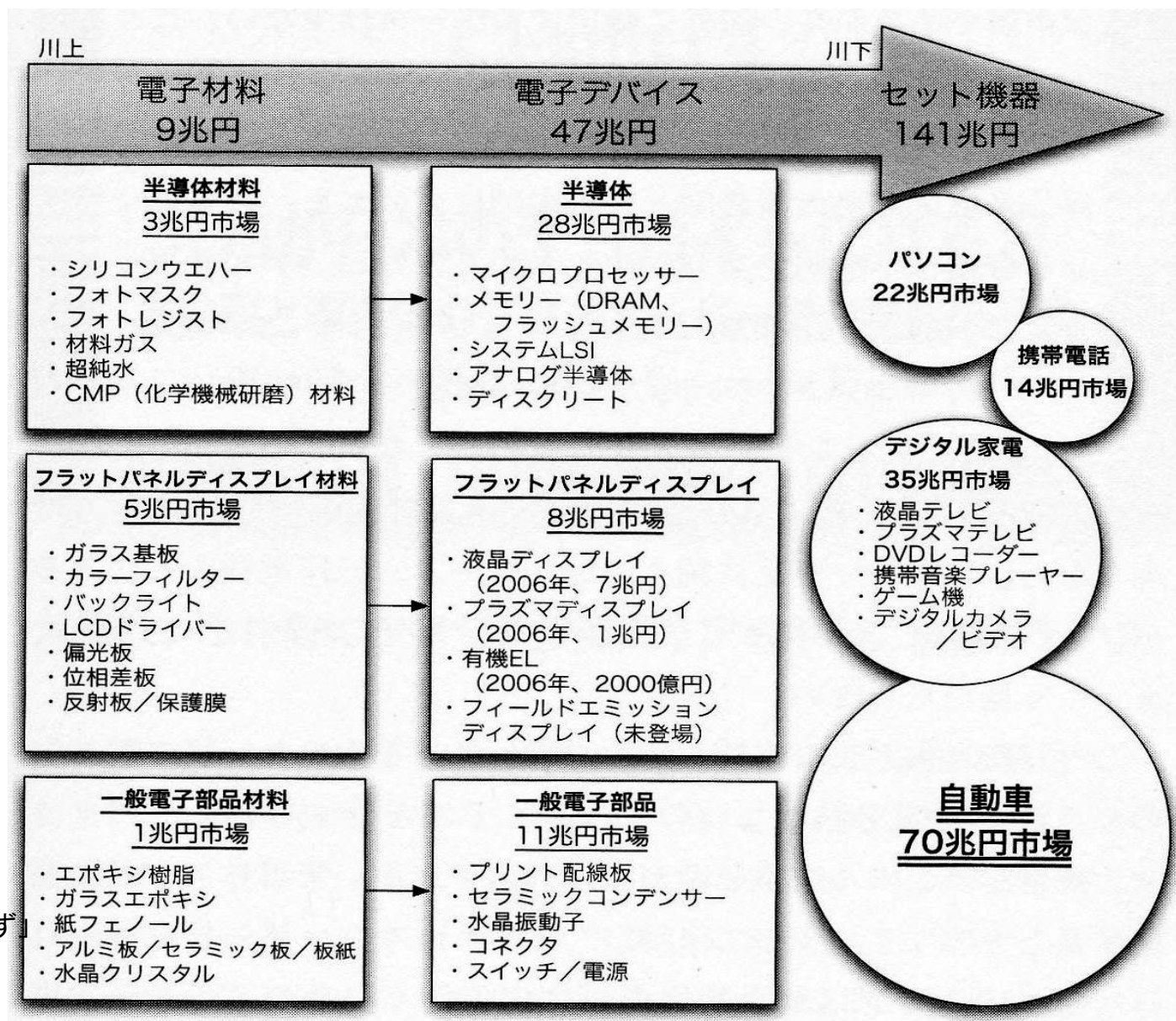
(m) Shape memory alloy 100um

矢部明：“高密度パルス光による先端的物質プロセッシング”，レーザー研究，27 (5)，pp.336-340(1999).

# 本日の内容

1. ギガフトンNext GLP共同研究部門とは
2. レーザープロセッシング用ハイパワーレーザーの特徴
  - ✓ 連続ファイバーレーザー
  - ✓ 超短パルスレーザー
  - ✓ エキシマレーザー
3. 半導体産業とレーザー開発
4. 新しい未来を創るハイパワーレーザー
  - ✓ ギガフトンNext GLP共同研究部門での取り組み
5. 次世代ハイパワーフォトンが創る世界
  - ✓ 極短紫外(EUV)光源の開発

# 電子産業サプライチェーン 《電子材料→デバイス→セット》

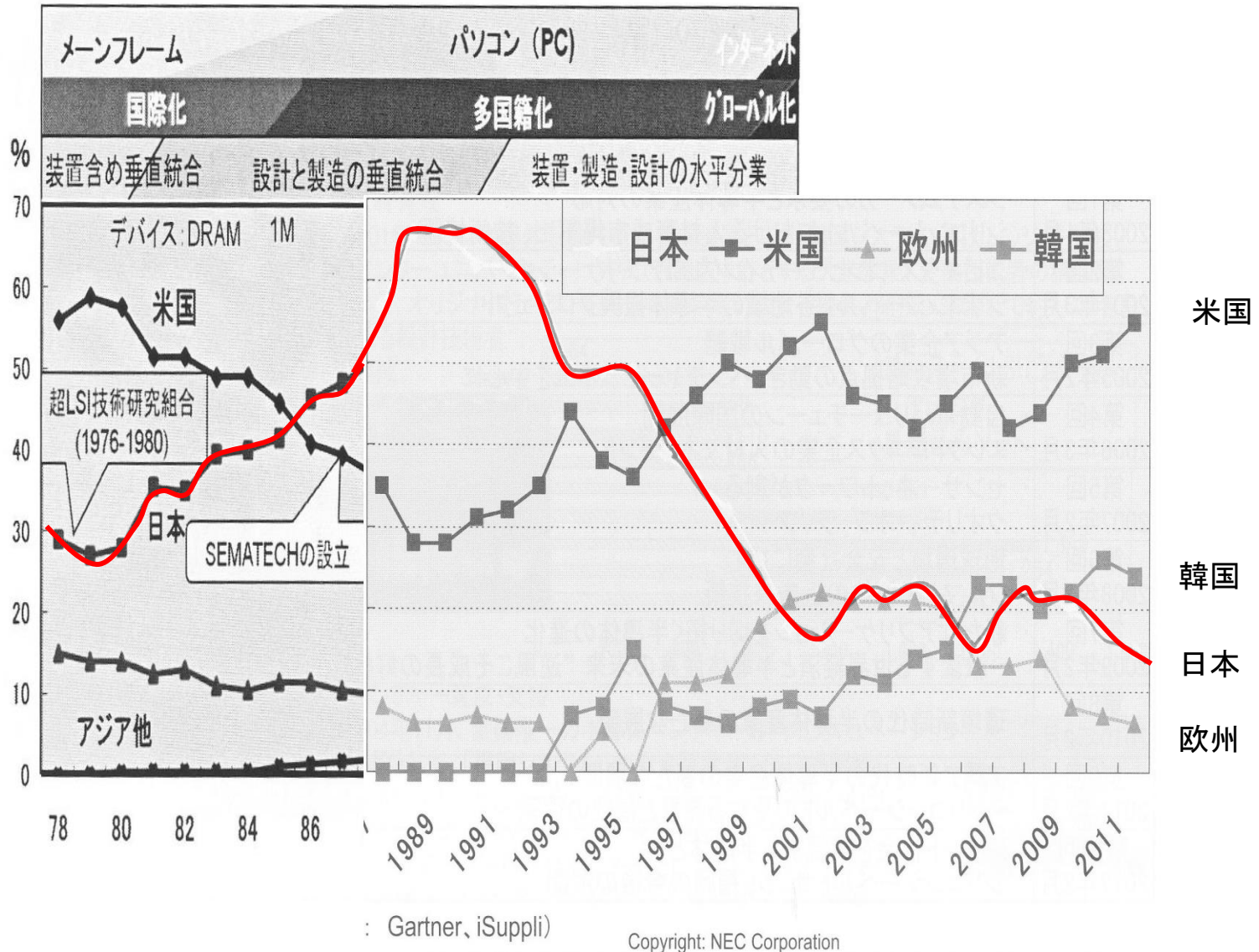


2006年  
市場規模

「日の丸半導体は死なず」

(89p) 泉谷 渉

# 半導体の国籍別シェアの推移



# 半導体メーカーのマーケットシェア変化

《1987年》 23年 後 → 《2010年》

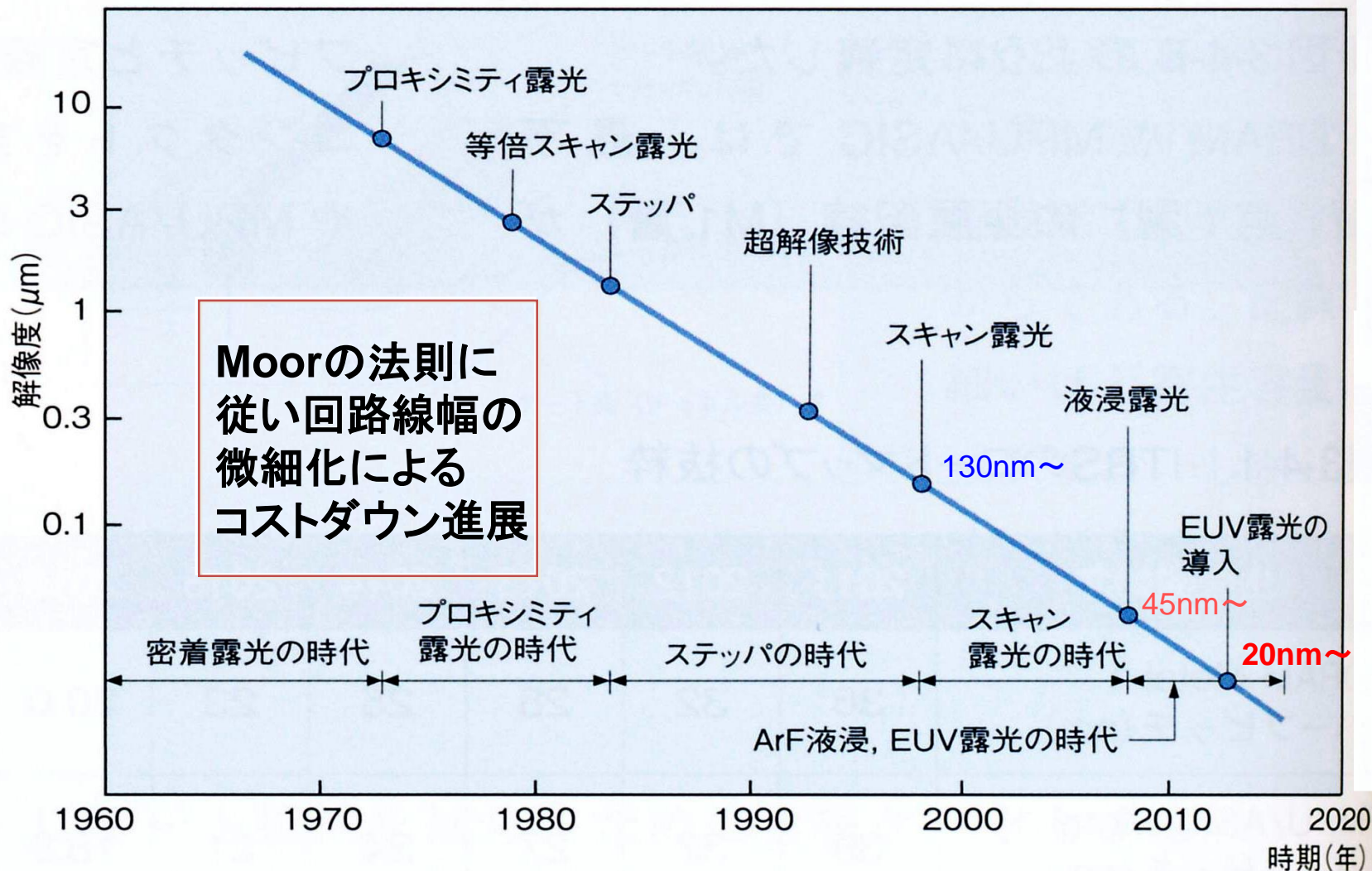
	半導体メーカー
1	(日) NEC
2	(日) 東芝
3	(日) 日立
4	(米) モトローラ
5	(米) TI
6	(日) 富士通
7	(欧) フィリップス
8	(米) NS
9	(日) 三菱電機
10	(米) インテル

	半導体メーカー
1	(米) インテル
2	(韓) サムスン
3	(日) 東芝
4	(米) TI
5	(欧) STマイクロ
6	(日) ルネサス
7	(韓) ハイニックス
8	(米) マイクロン
9	(米) クォルコム
10	(米) ブロードコム

NECエレクトロニクス  
富士通マイクロエレクトロニクス



# 半導体微細化進展と投資巨大化



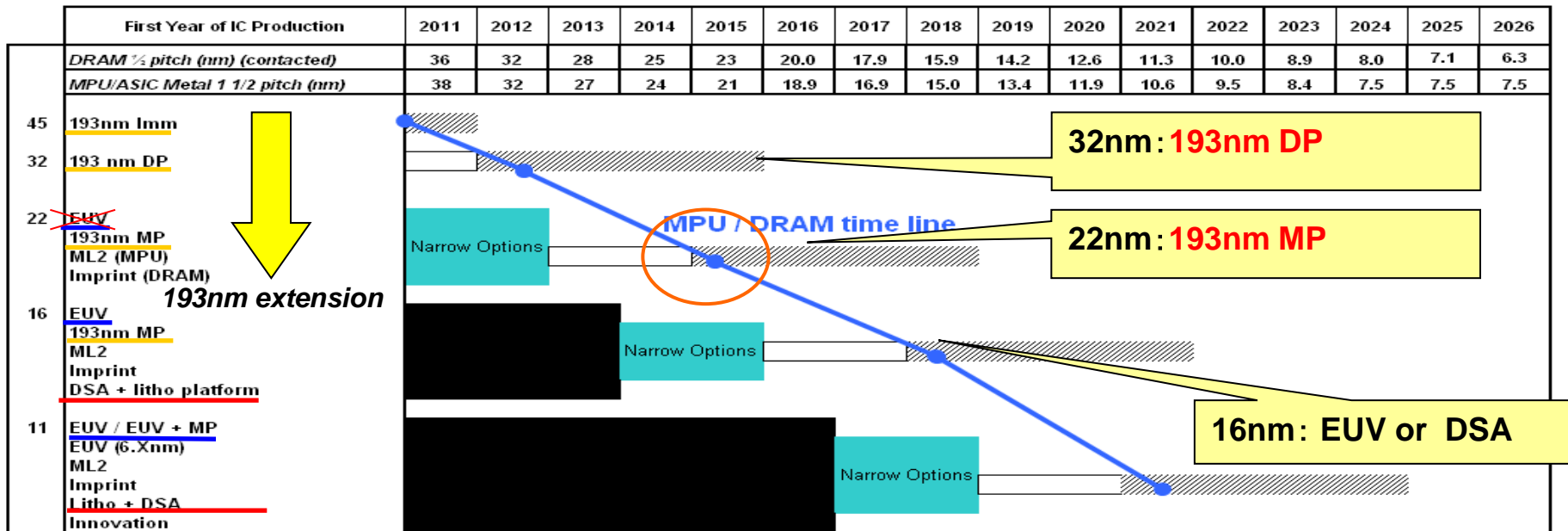
「よくわかる半導体」(124p) JEITA

出所：ITRSを基に作成



# International Technology Roadmap for Semiconductors

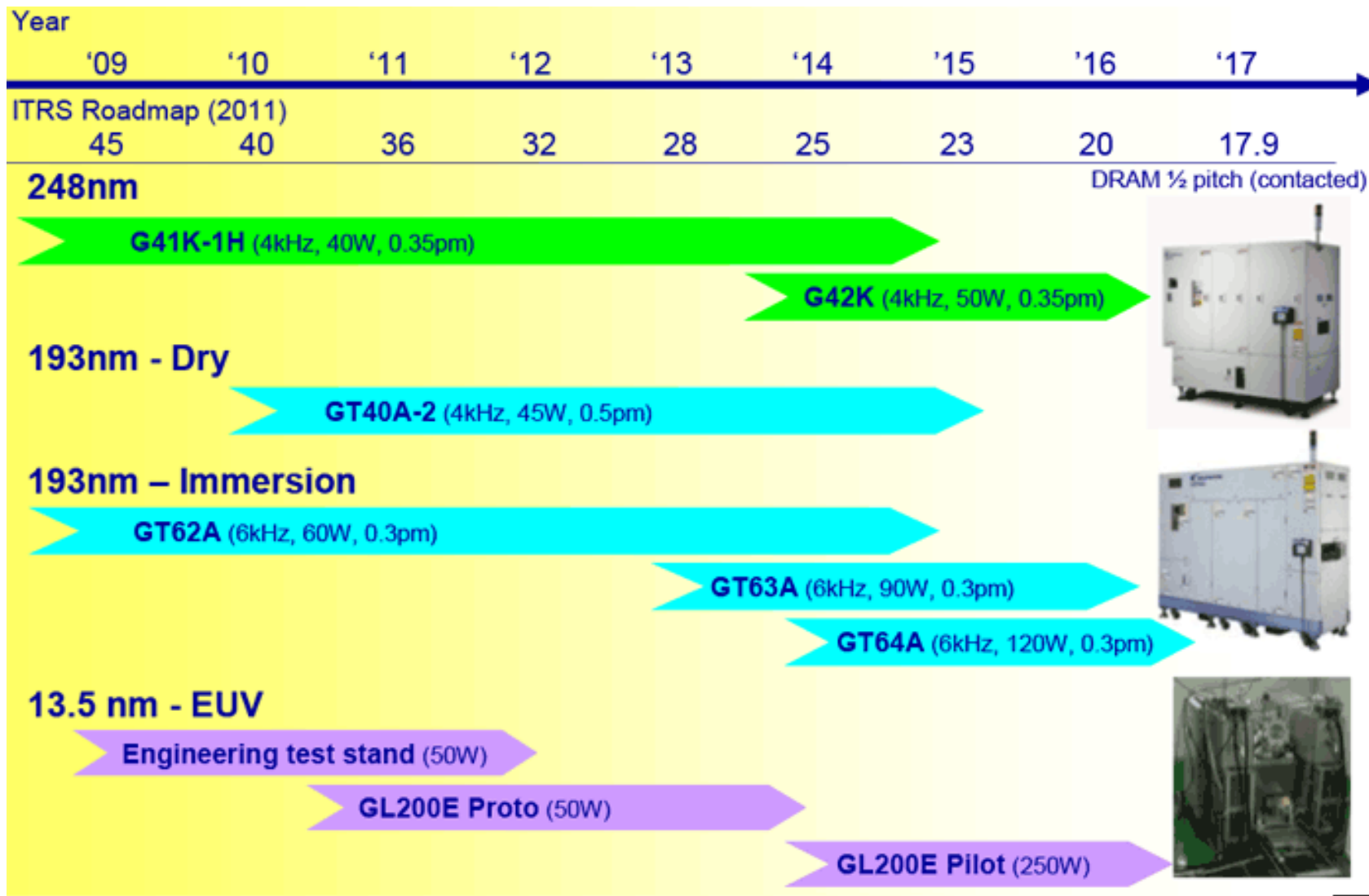
Figure LITH3A DRAM and MPU Potential Solutions

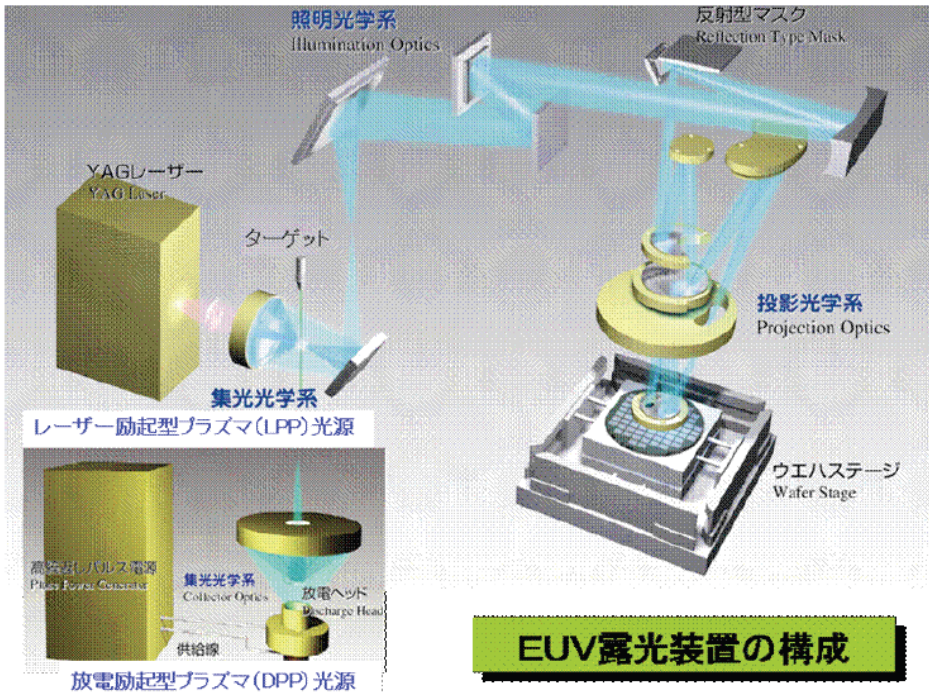


This legend indicates the time during which research, development, and qualification/pre-production should be taking place for the solution.

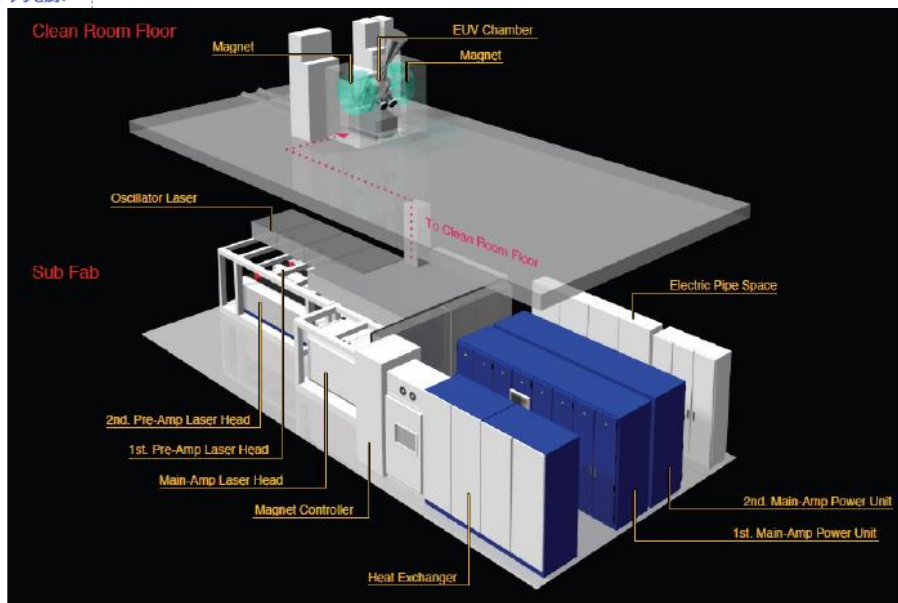
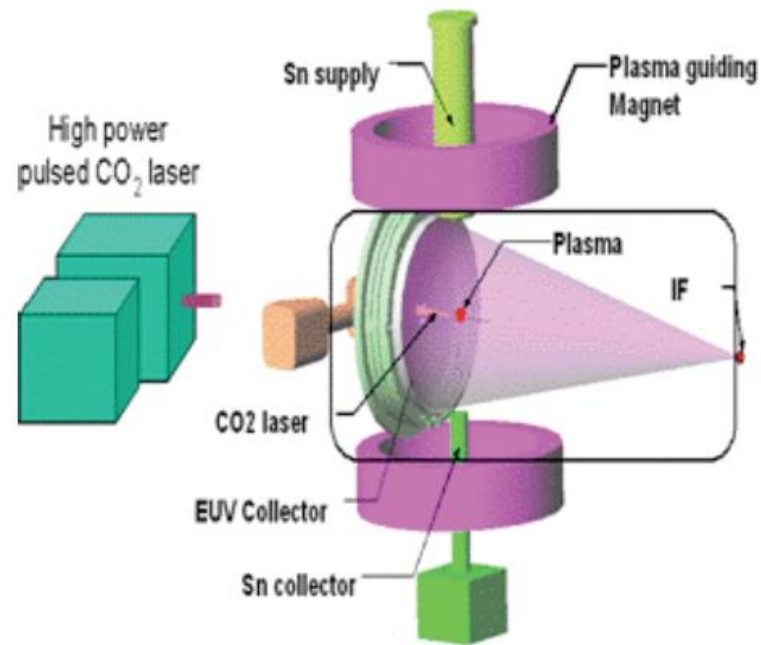
- Research Required
- Development Underway
- Qualification / Pre-Production
- Continuous Improvement





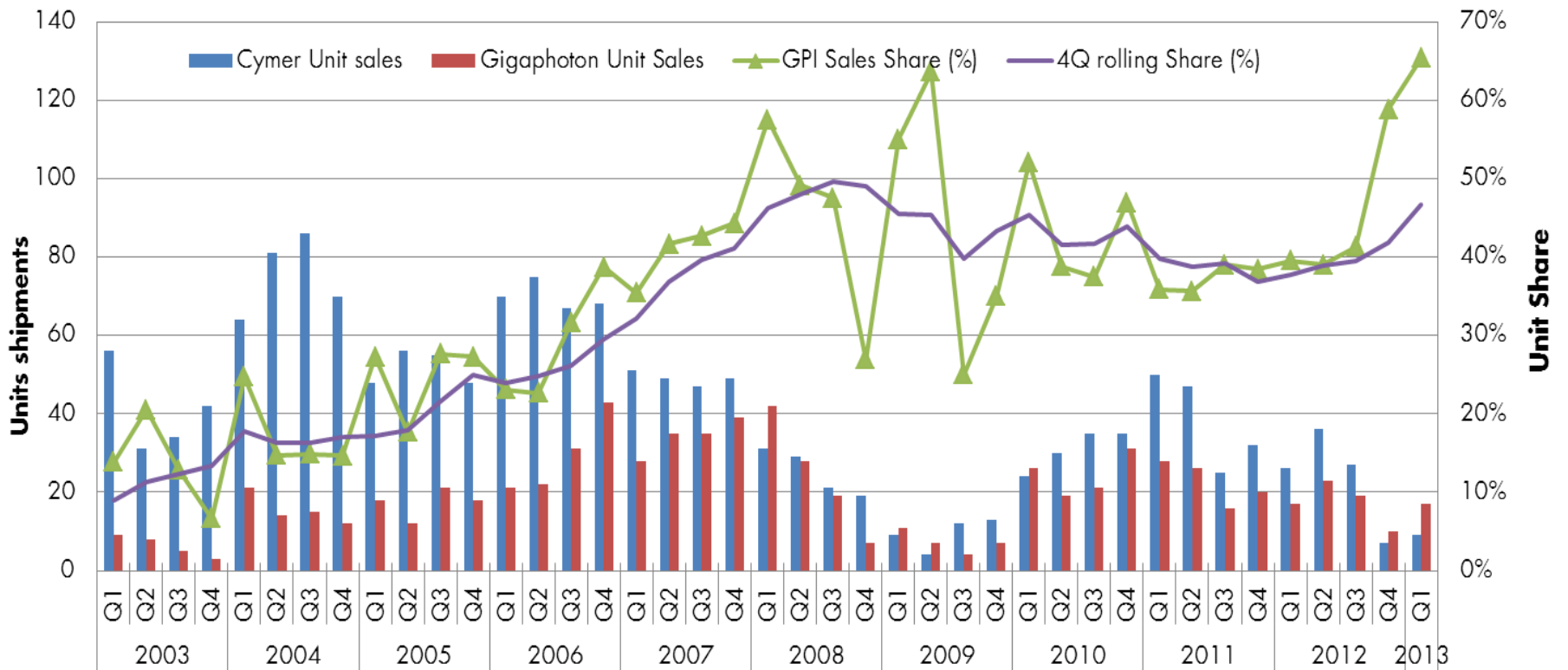


**EUV露光装置の構成**



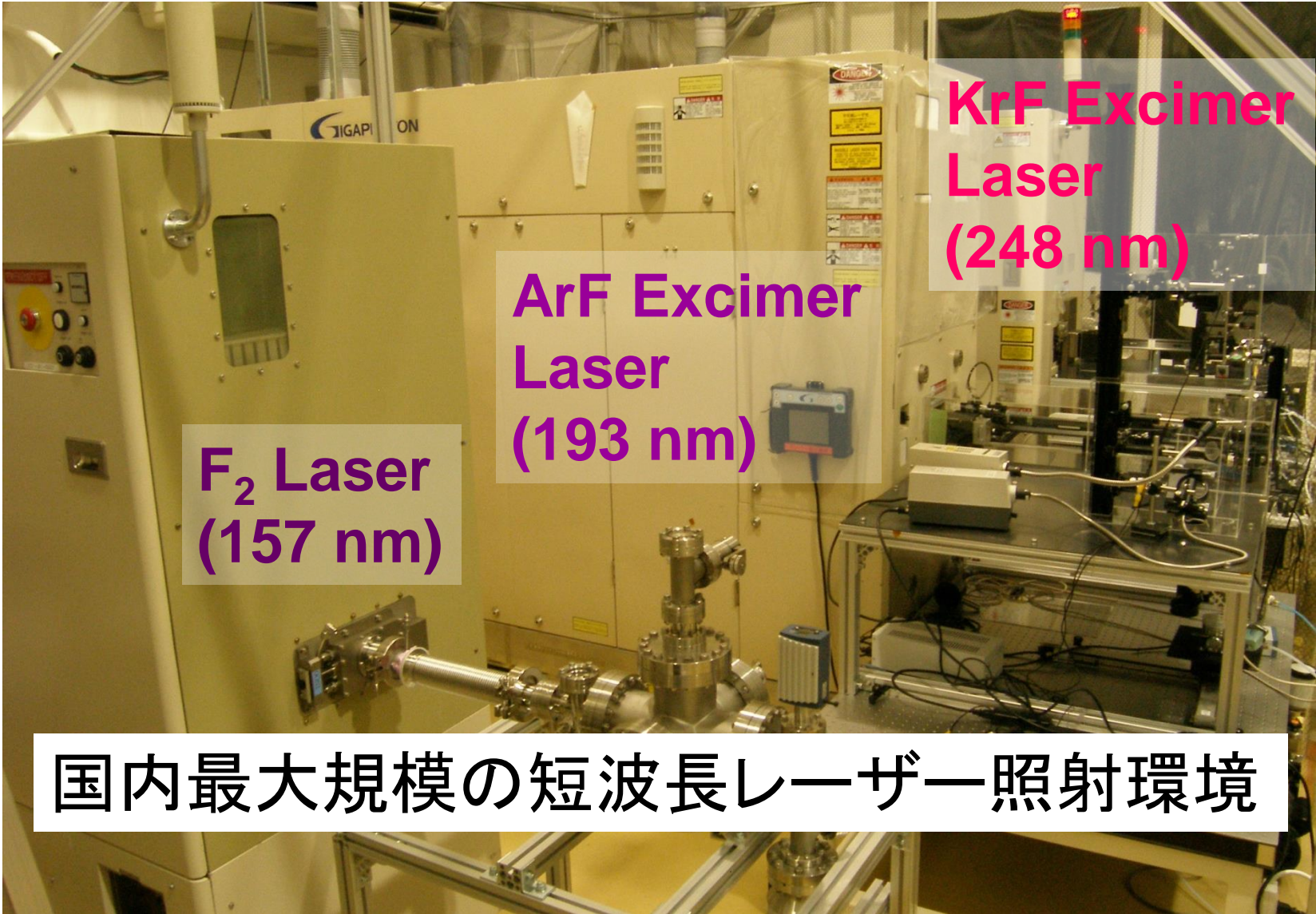
# 日本企業市場占有率(リソグラフィ工程光源)

世界規模(450億円~500億円)  
市場占有率 約50%



# 本日の内容

1. ギガフトンNext GLP共同研究部門とは
2. レーザープロセッシング用ハイパワーレーザーの特徴
  - ✓ 連続ファイバーレーザー
  - ✓ 超短パルスレーザー
  - ✓ エキシマレーザー
3. 半導体産業とレーザー開発
4. 新しい未来を創るハイパワーレーザー
  - ✓ ギガフトンNext GLP共同研究部門での取り組み
5. 次世代ハイパワーフォトンが創る世界
  - ✓ 極短紫外(EUV)光源の開発



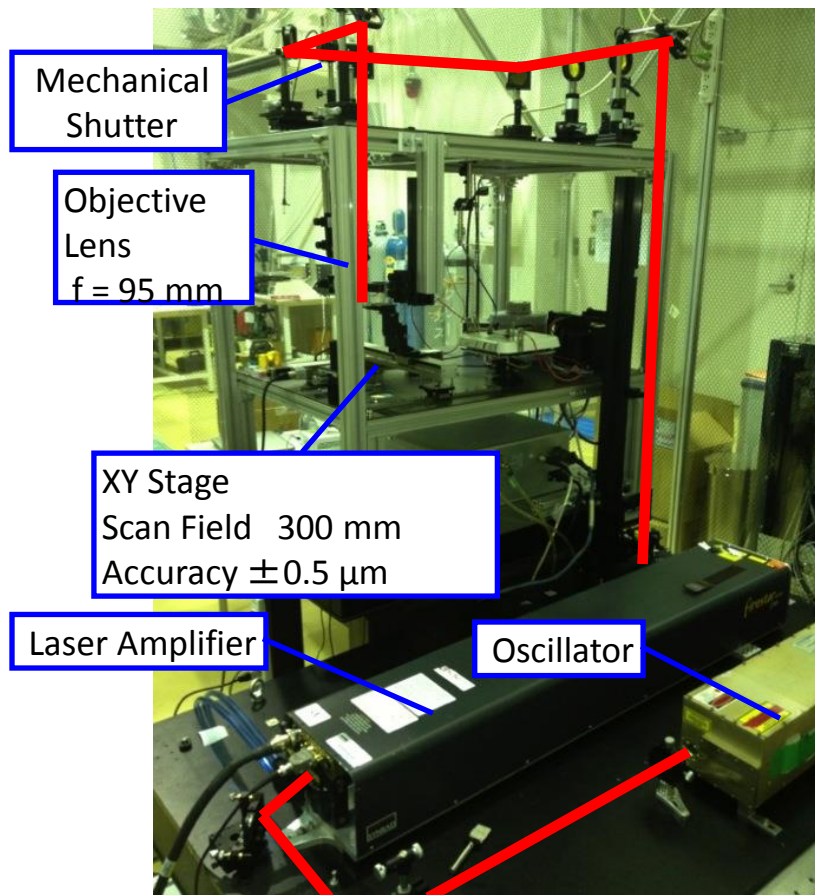
KrF Excimer  
Laser  
(248 nm)

ArF Excimer  
Laser  
(193 nm)

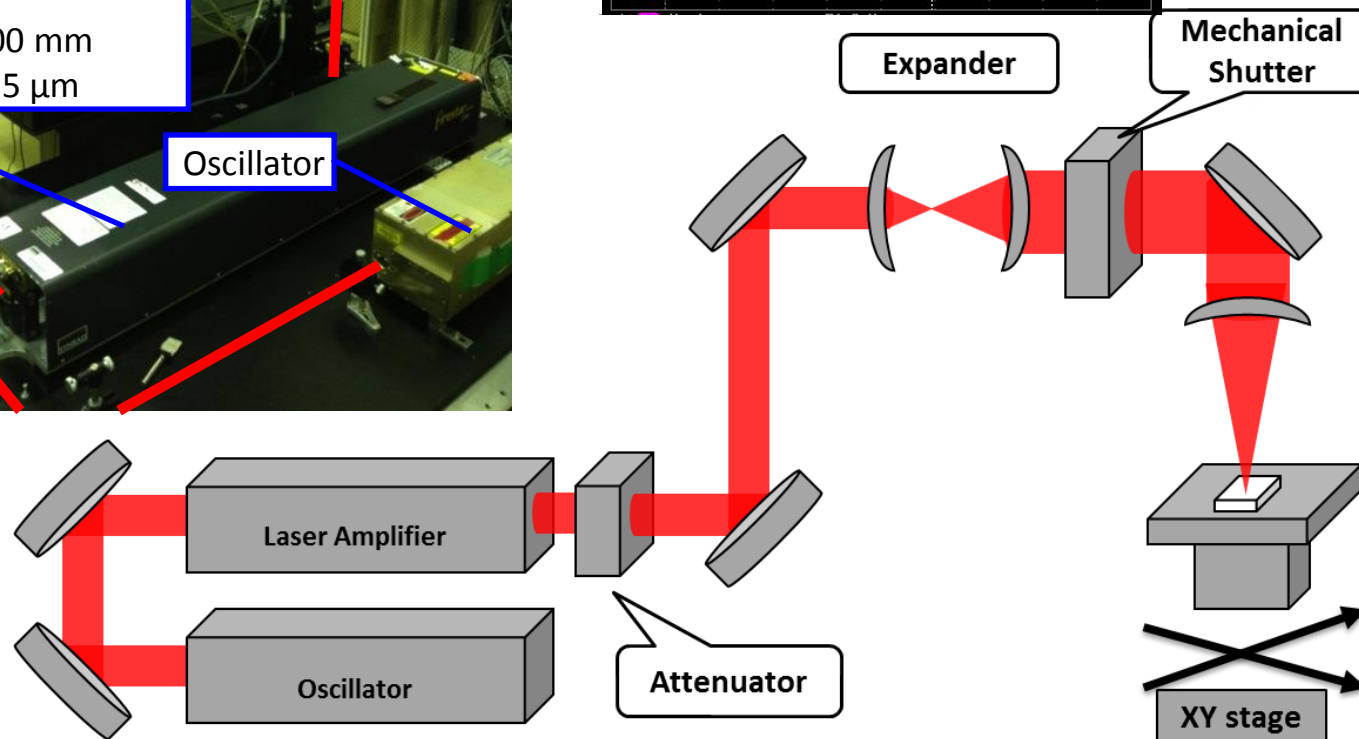
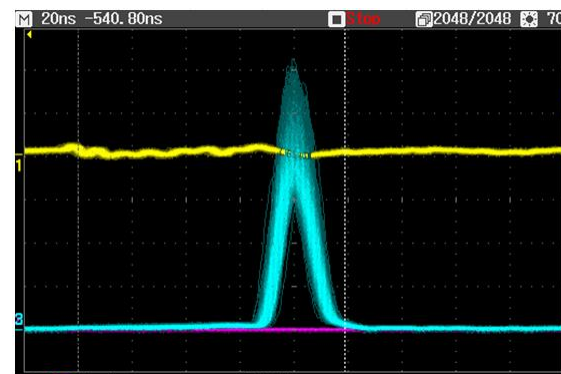
F<sub>2</sub> Laser  
(157 nm)

国内最大規模の短波長レーザー照射環境

# Q-switch CO<sub>2</sub> Laser



波長  $10.6 \mu\text{m}$   
パルス幅 約13 ns  
繰返し 5 kHz~100 kHz





# 研究シーズ

レーザー照射環境を活用し様々なニーズに対応した研究シーズを提供します

	大気 (Ar, N <sub>2</sub> )	液中 (水中, 溶液中)	ガス中 (プラズマ中)
Qスイッチ CO <sub>2</sub> レーザー (λ=10.6 μm)	ガラス基板加工 塗布ガラス焼成 ガラス中アニール	不可	
KrF エキシマレーザー (λ=248 nm)	薄膜結晶化  表面改質  微細加工	クリーニング 微細・低損傷加工 半導体薄膜結晶化 TFT欠陥不活性化 不純物活性化 ナノ, サブミクロン 粒子生成	グラフェン形成
ArF エキシマレーザー (λ=193 nm)			
F <sub>2</sub> レーザー (λ=157 nm)		不可	準備中

# リソグラフィ用レーザーの特徴

## エキシマレーザー

波長 : 248 nm(KrF), 193 nm(ArF), 157 nm(F2)  
パルスエネルギー : 10 mJ/pulse ~ 100 mJ/pulse  
繰返し周波数 : 数kHz(最大 6 kHz)  
パルス幅 : 20 ns ~ 100 ns(パルスストレッチャー)  
パルスエネルギー安定性 : 1.0 ~ 1.5 % (3 $\sigma$ )  
その他 : 優れた照度均一性及び微細パターンニング特性  
液浸照射, パルスストレッチ, OPC, 波長狭帯域化

**短波長**

他用途エキシマ  
1kHz以下  
高出力固体パルス  
>10kHz以上

➡ 薄膜などのアニール工程, 微細パターンニング

## CO<sub>2</sub>レーザー(Qスイッチ)

波長 : 10.6  $\mu$ m  
繰返し周波数 : 100 kHz  
パルス幅 : 10 ns  
パルスエネルギー : 0.7 mJ/pulse (Osc.+Amp.)  
(アンプ増設により高出力化が可能)

固体レーザー発振不可

市販パルスCO<sub>2</sub>レーザー  
<1 kHz, >50 ns

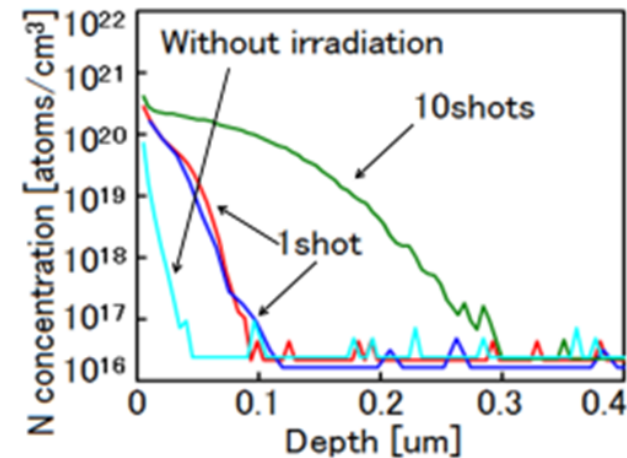
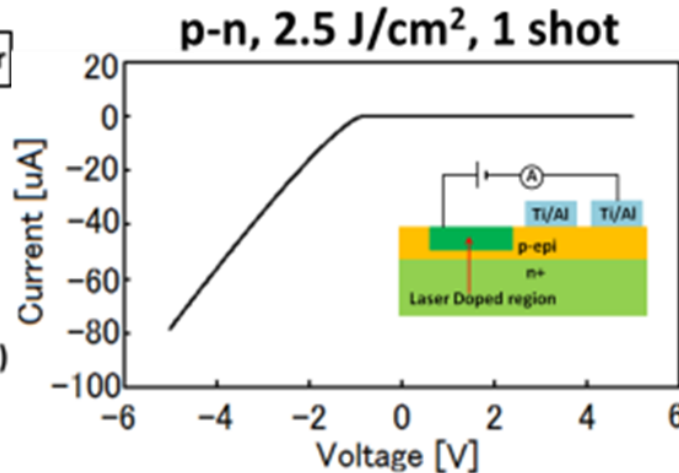
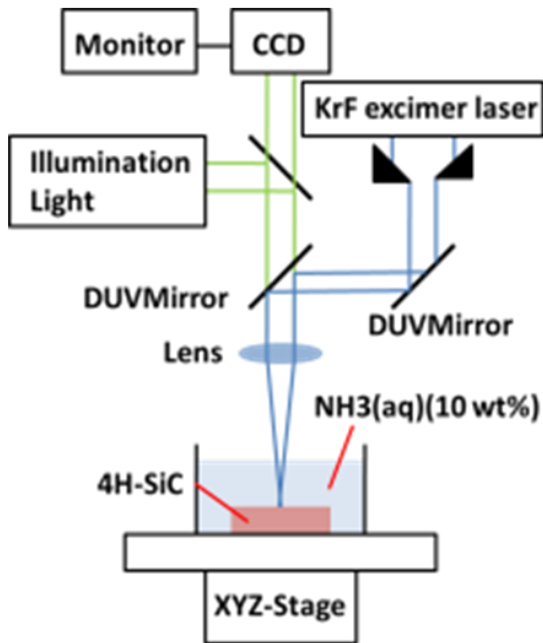
2014/8/3

➡ SiO<sub>2</sub>など透明材の微細加工 及び アニール

# SiC中への不純物注入と同時活性化

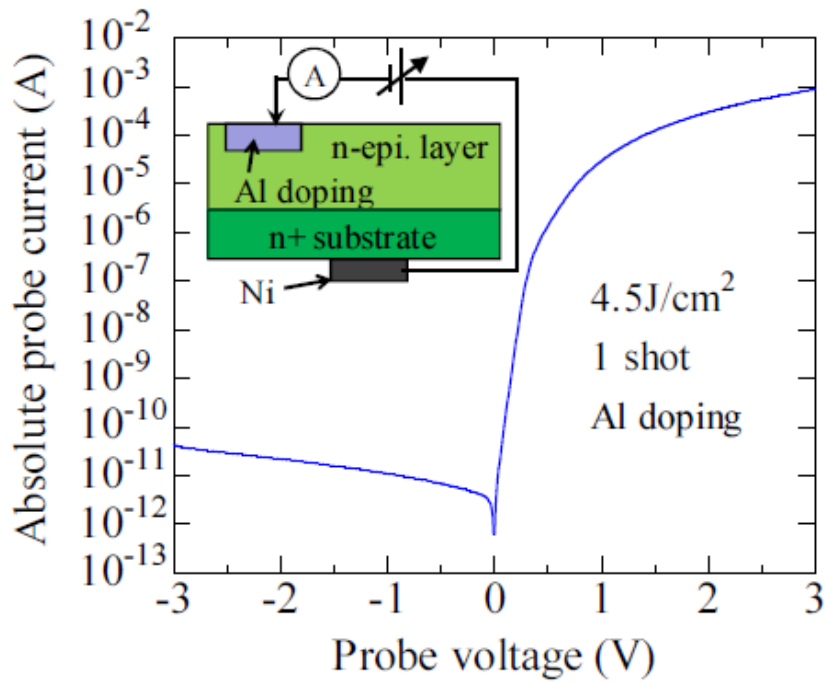
KrFエキシマレーザー薬液中照射

九大 浅野研共同

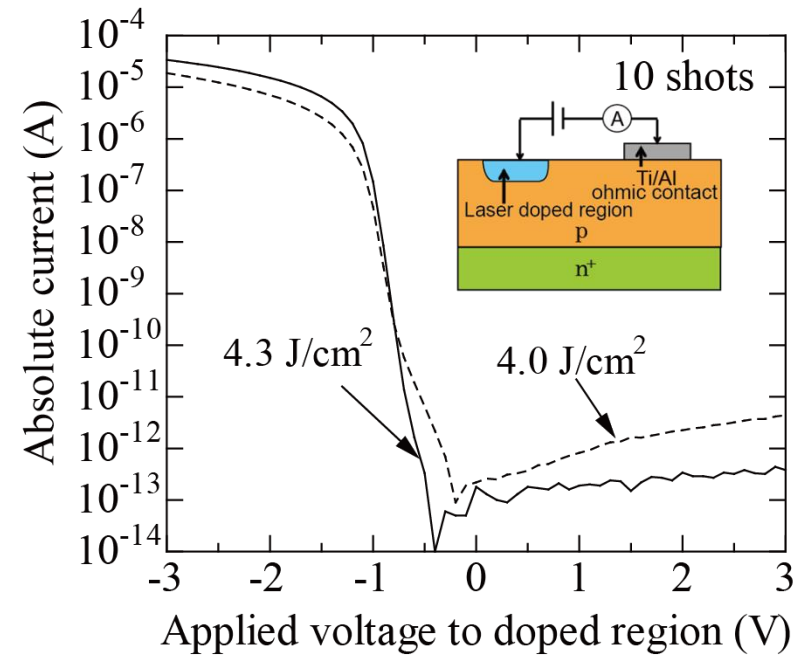


SiCパワーデバイス製造技術への応用が期待  
SiCパワーデバイスはSiと比較して性能指数が500倍  
SiC製造コスト(Siデバイス比) 2013年10倍→2016年2倍  
市場規模:2016年が転換期と予想

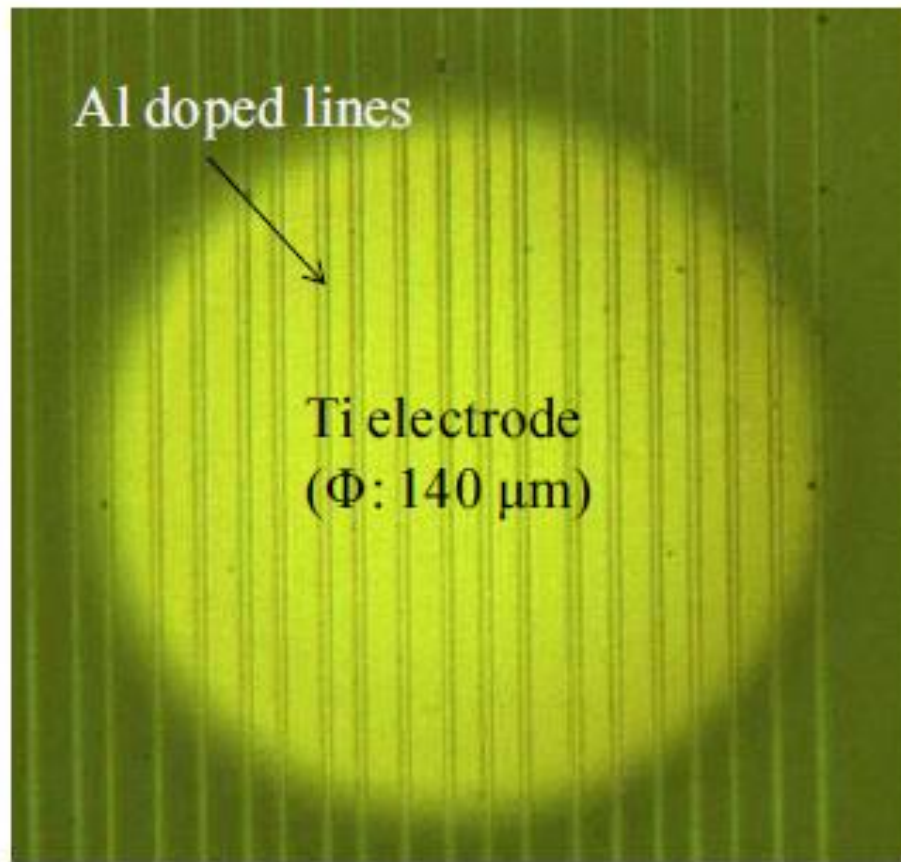
# 塩化アルミ水溶液中 Alドーピング



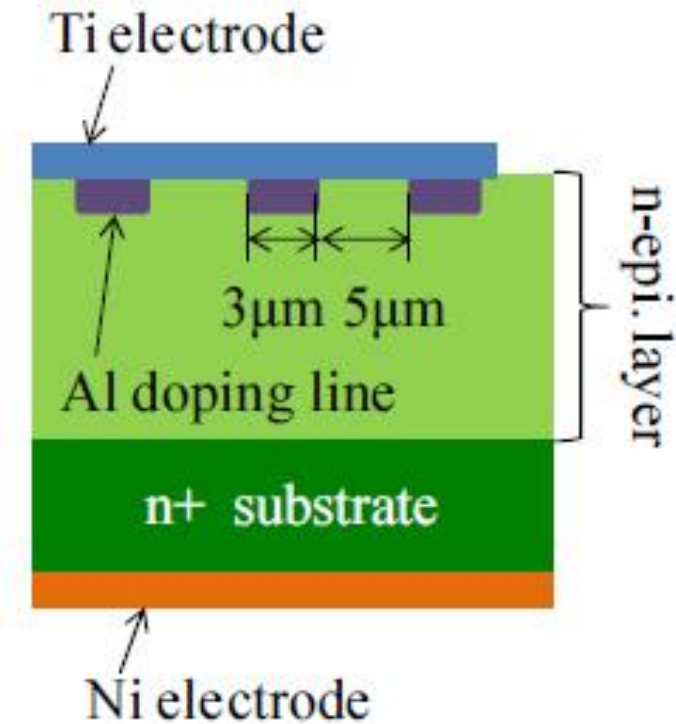
# リン酸水溶液中 Pドーピング



# JBSダイオードの製作と評価

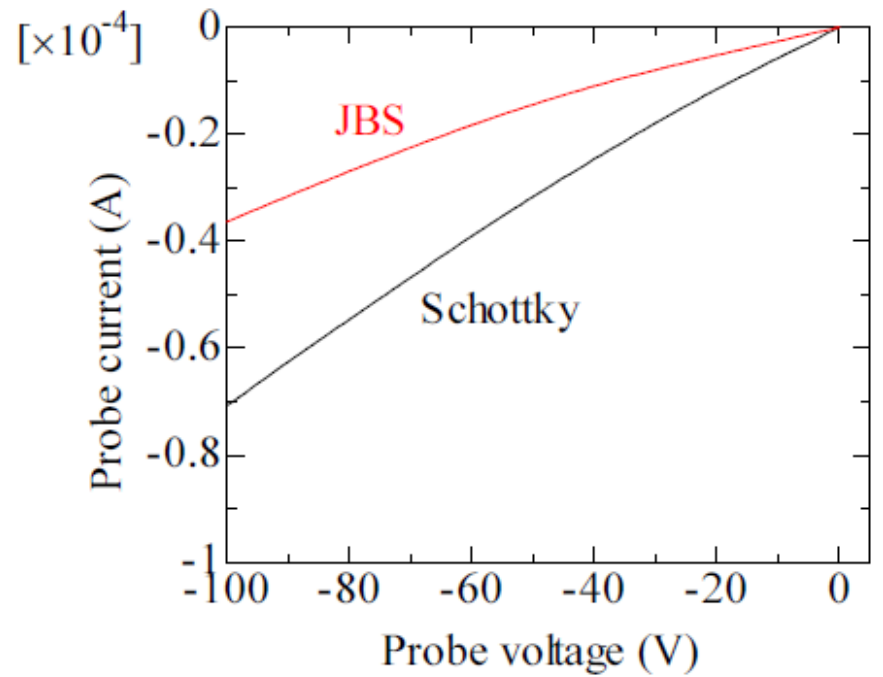
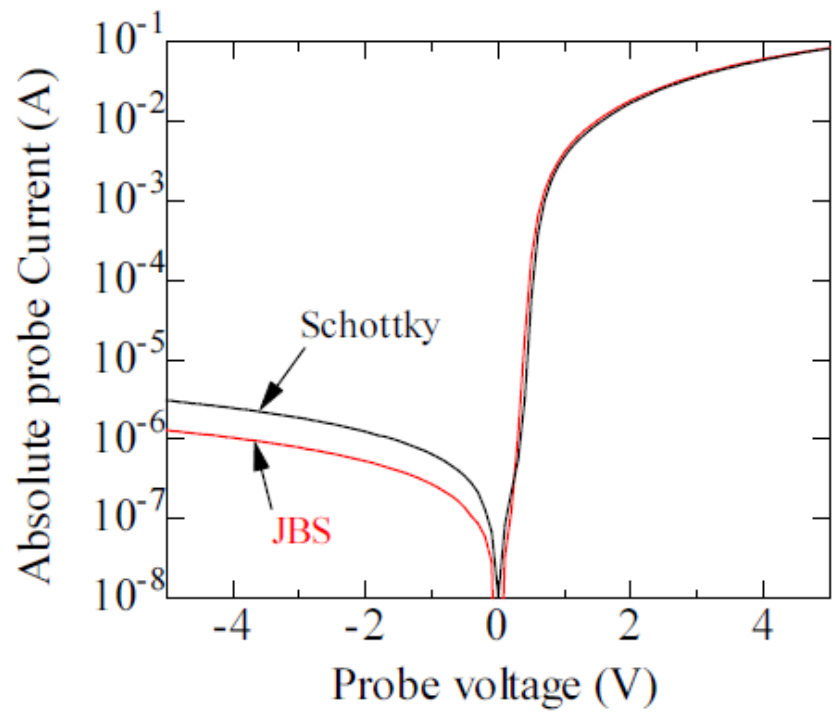


Top view



Cross sectional image

# JBSダイオードのIV特性

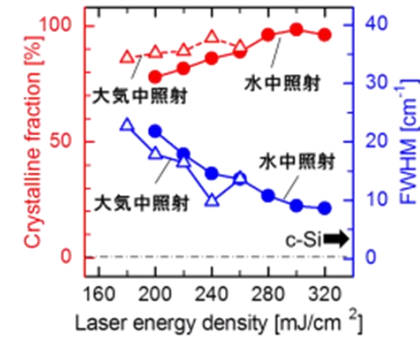


# プラスチック基板上Si薄膜結晶化

KrFエキシマレーザー 水中照射

奈良先端大 浦岡研共同

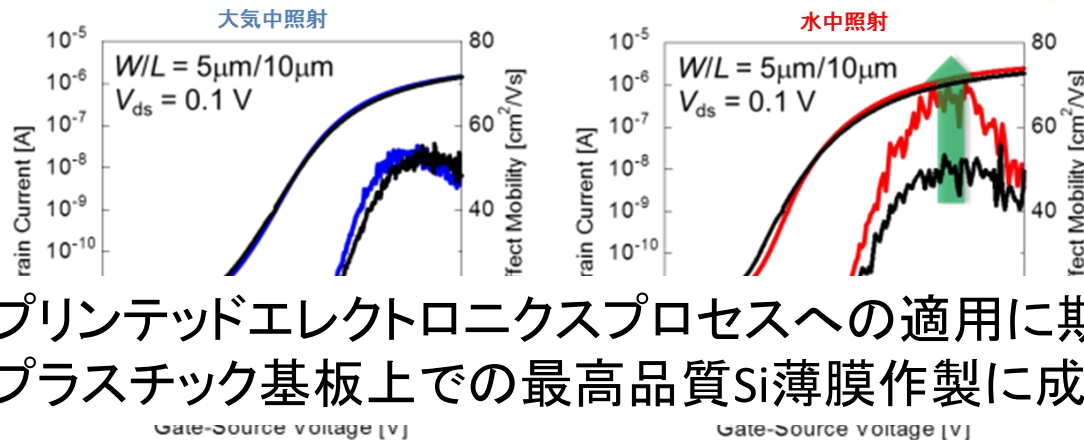
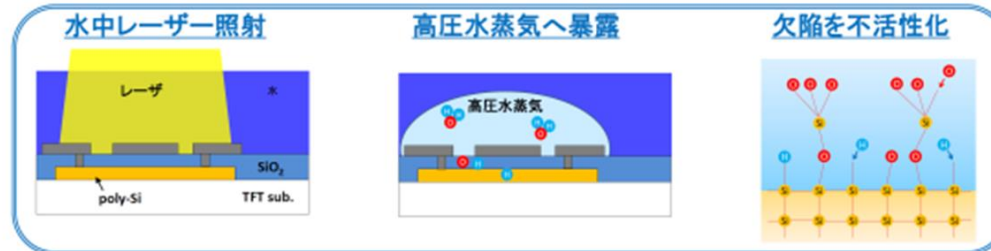
a-Si (50 nm)
Buffer SiO <sub>2</sub> (500 nm)
Buffer SiN <sub>x</sub> (50 nm)
<b>Plastic Sub.</b> (200 μm)



# 薄膜トランジスタ欠陥不活性化技術

KrFエキシマレーザー 水中照射

奈良先端大 浦岡研共同

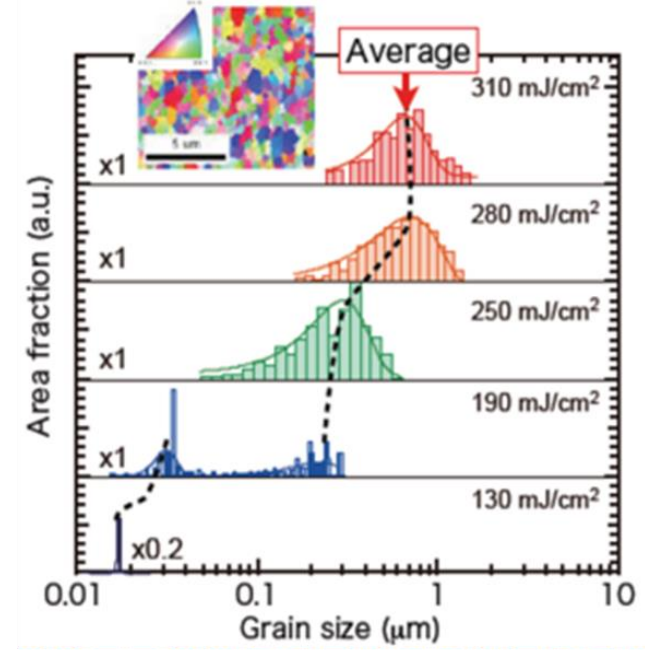
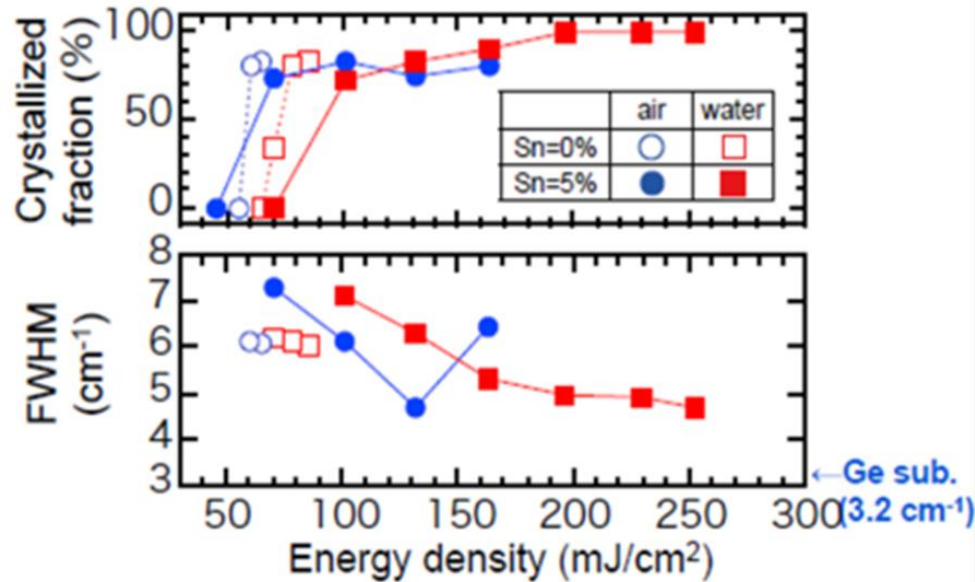


プリントドエレクトロニクスプロセスへの適用に期待  
プラスチック基板上での最高品質Si薄膜作製に成功

# GeSn薄膜結晶化

KrFエキシマレーザー 水中照射

名古屋大学 財満研共同



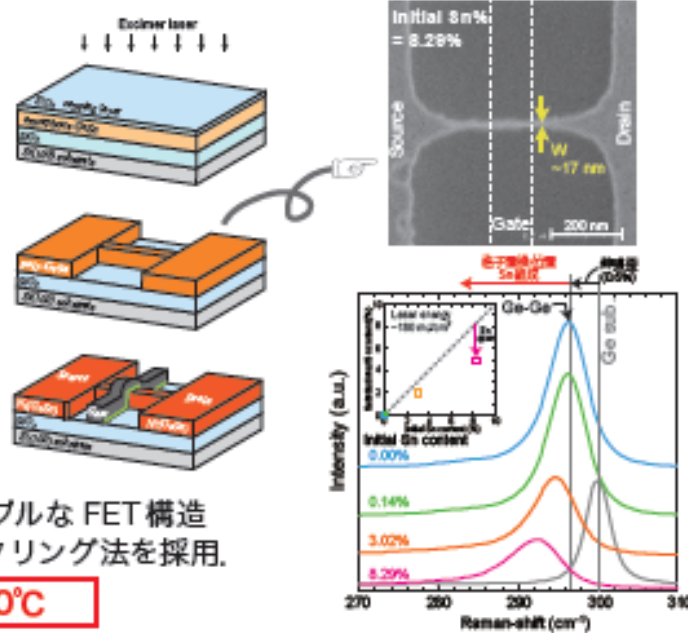
GeSn: IV族 高移動度チャネル材, フォトデバイス材として期待  
超低温プロセス(基板温度室温プロセス)にて大粒径化を達成



# 名古屋大, 産総研共同

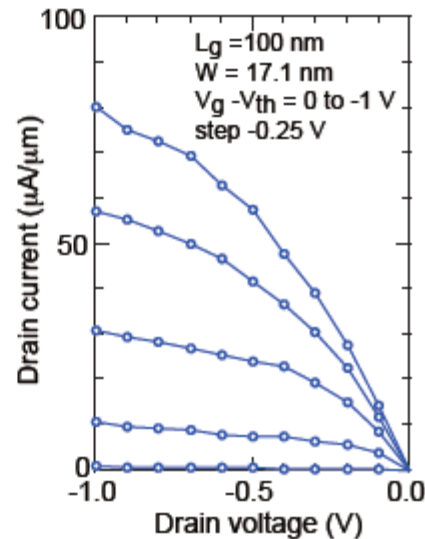
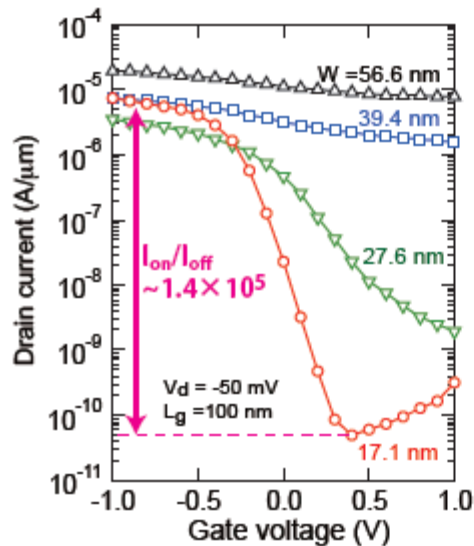
## Process flow

- SiO<sub>2</sub> formation (100 nm)  
(thermal oxidation)
- a-GeSn deposition (60 nm)  
(initial Sn%=0.00, 0.14, 3.02, 8.29%)
- SiO<sub>2</sub> capping layer deposition (10 nm)
- Poly-crystallization by ELA in water
- Fin patterning
- HfAlO/TaN Gate stack & patterning
- Ni(GeSn) S/D contact (250°C)
- BELO process



低コスト化の可能性を示すため, シンプルな FET 構造 (Junctionless), 生産性が高いスパッタリング法を採用.

最大プロセス温度: 300°C

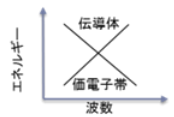
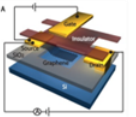
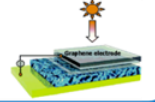


Tri-Gate Transistor  
にて動作実証に成功

- ・ FIN 幅狭小化で,  $I_{on}/I_{off} \sim 10^5$  に結実 (単結晶 GeSn 以上)
- ・  $I_{on} = 80 \mu A/\mu m$  @  $V_d - V_{th} = -1V$  を実現 (単結晶 GeSn 並み)

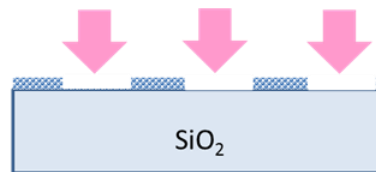
# グラフェンパターンニング技術

KrFエキシマレーザー 希ガス中照射 M1 服部正和 NTT物性基礎研 共同

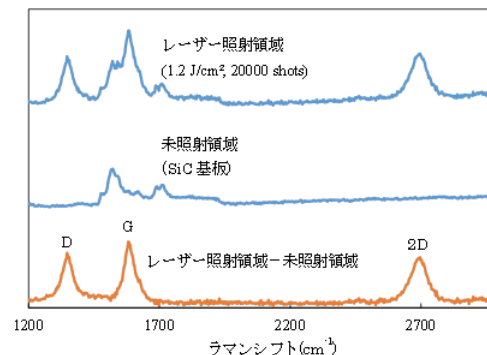
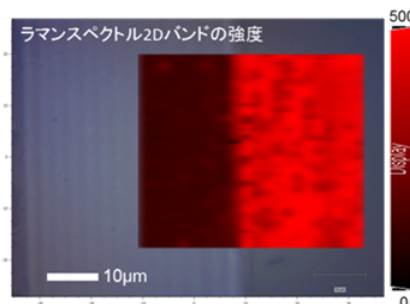
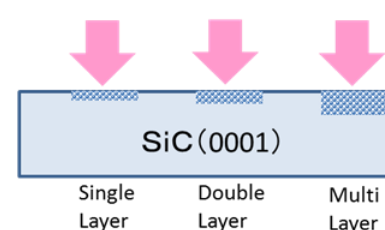
<p><b>単層グラフェン</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓比表面積が高く非常に感度が良い、</li> <li>✓高いフォノンエネルギー</li> <li>✓バンドギャップが0</li> </ul>	<p><b>センサ</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・単分子ガスセンサ</li> <li>・赤外線センサ</li> <li>・テラヘルツレーザー</li> <li>・計測</li> </ul> 
<p><b>2層グラフェン</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓高いキャリア移動度</li> <li>✓垂直電界によりバンドギャップ形成可能</li> </ul>	<p><b>グラフェントランジスタ(G-FET)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ポストシリコン材料の最有力</li> </ul> 
<p><b>積層グラフェン</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓優れた白色透過性</li> <li>✓積層化によるシート抵抗が低下</li> </ul>	<p><b>透明電極(優れた白色透過性)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・太陽電池</li> </ul> 

同一平面内に層数の異なるグラフェンの形成→多機能デバイスの作製が可能！

レーザーアブレーション法(除去)



レーザー誘起成長法(成長)

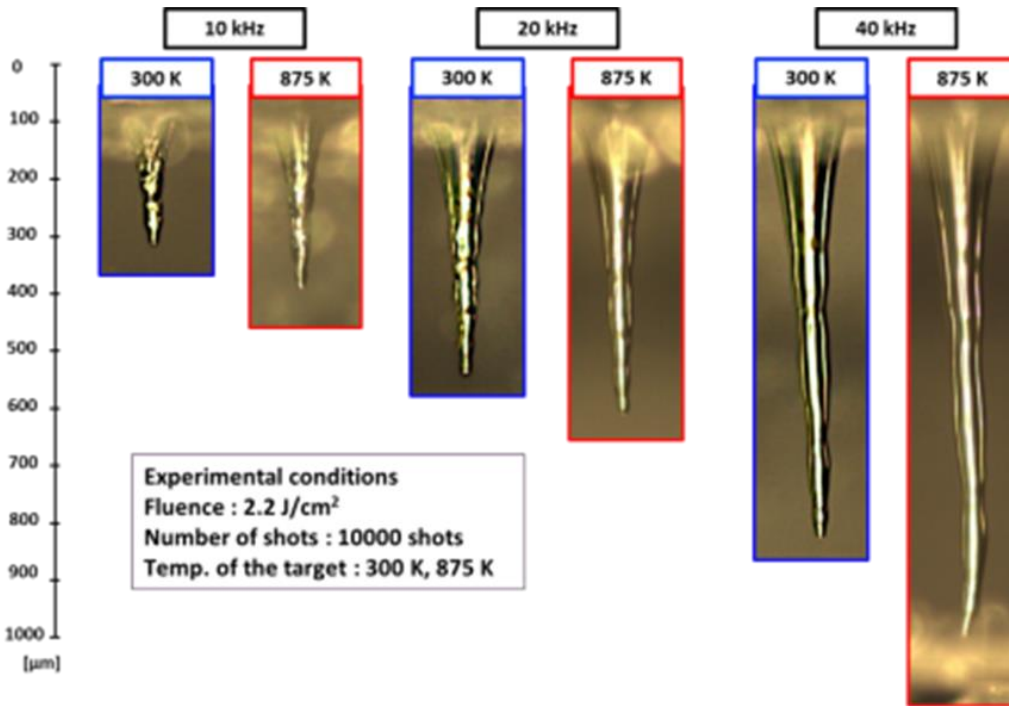


グラフェンデバイス: ポストSi材料の最有力  
透明電極, ガスセンサなど様々なデバイス材料として期待

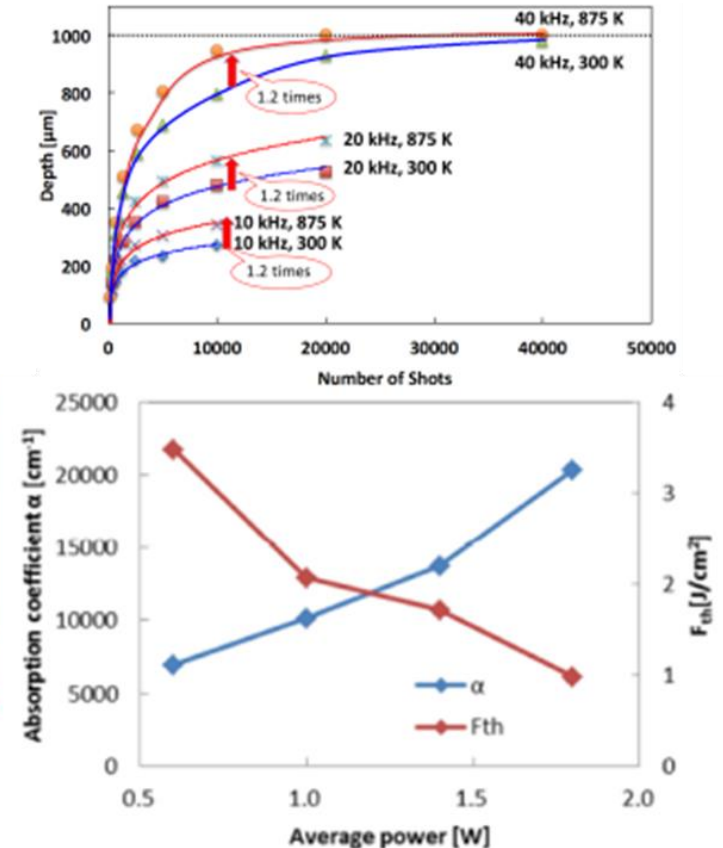
NTT物性基礎研と共同開発  
特許出願: 3件

# シリカガラスの高速・低損傷加工

## Qスイッチ CO<sub>2</sub>レーザー加工



FR 渡邊陽介 M2 山崎恒太  
 九大 岡田・中村研共同

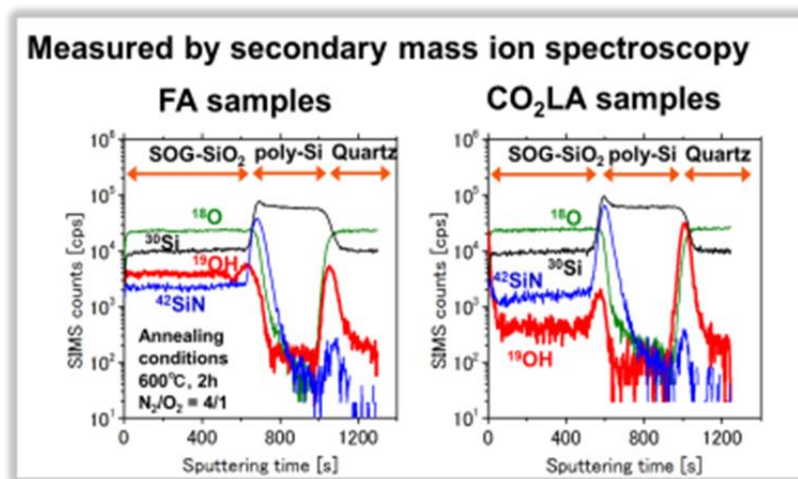
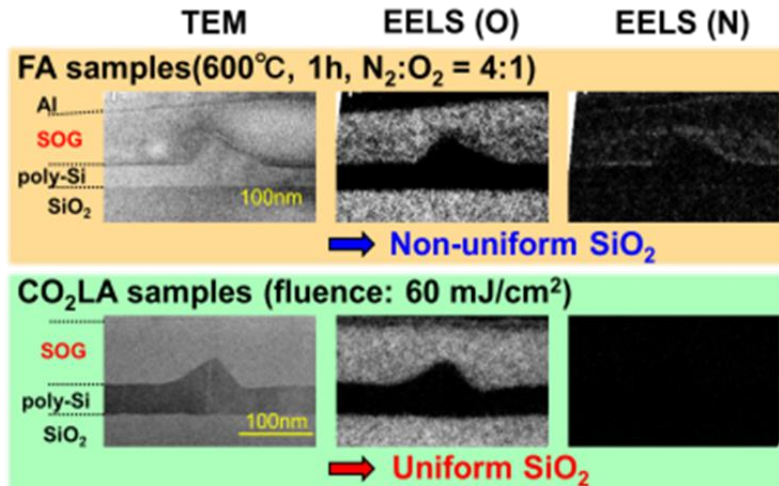
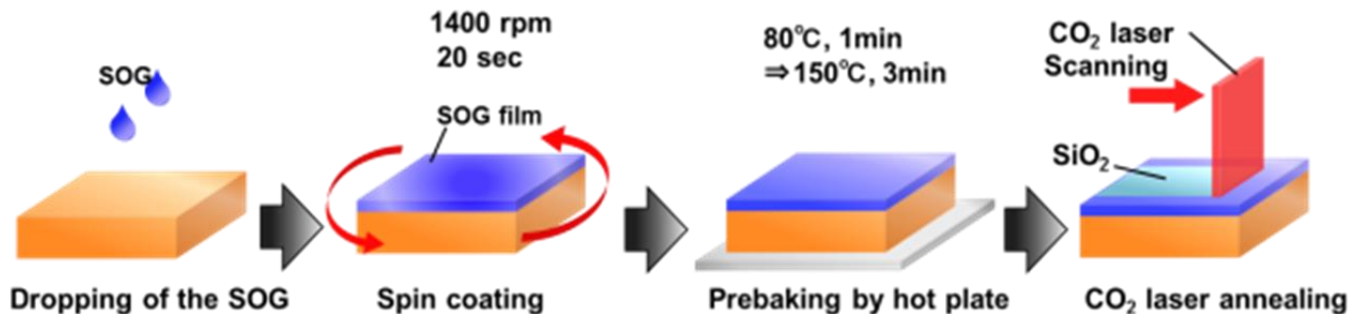


半導体デバイス実装技術(ガラスインターポーザ加工)  
 スマートフォン, タブレットPC(ガラス基板加工)

# 塗布SiO<sub>2</sub>膜の焼成

QスイッチCO<sub>2</sub>レーザーアニール

奈良先端大 浦岡研共同

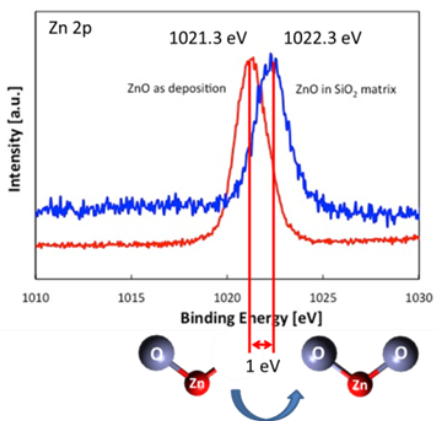
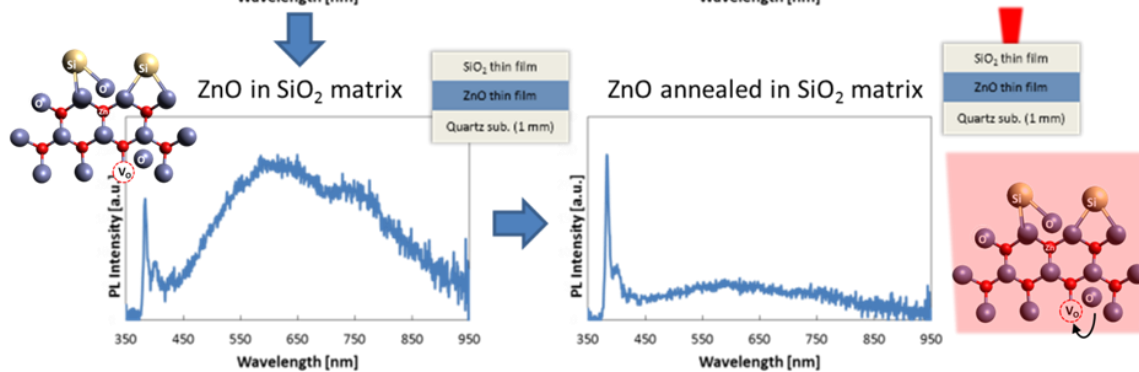
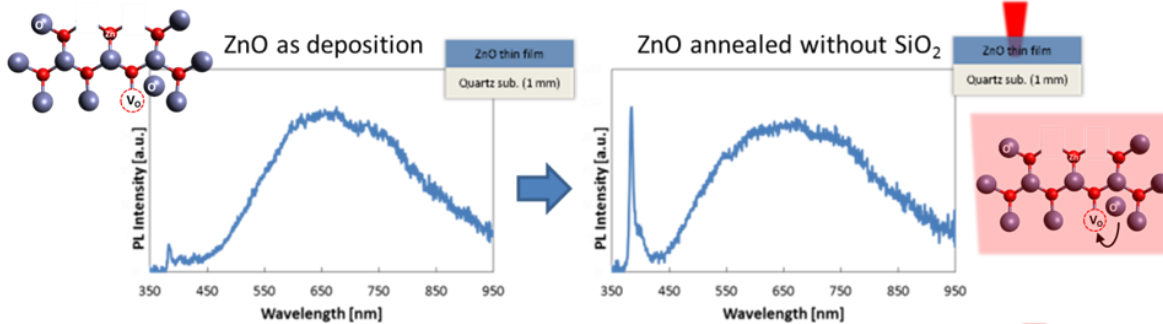
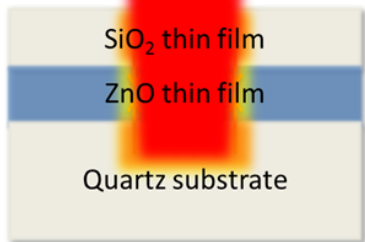


プリントドエレクトロニクスプロセスへの適用に期待  
塗布SiO<sub>2</sub>のレーザー焼成に世界で初めて成功

# 高品質ZnO薄膜形成

QスイッチCO<sub>2</sub>レーザーアニール M2 山崎恒太 九大 岡田・中村研共同

CO<sub>2</sub> Laser



# 本日の内容

1. ギガフトンNext GLP共同研究部門とは
2. レーザープロセッシング用ハイパワーレーザーの特徴
  - ✓ 連続ファイバーレーザー
  - ✓ 超短パルスレーザー
  - ✓ エキシマレーザー
3. 半導体産業とレーザー開発
4. 新しい未来を創るハイパワーレーザー
  - ✓ ギガフトンNext GLP共同研究部門での取り組み
5. 次世代ハイパワーフォトンが創る世界
  - ✓ 極短紫外(EUV)光源の開発

ギガフトン(株)  
藤本 准一