

# 大気圧熱プラズマジェットによる 表面処理技術の大面積化技術の開発



広島大学

大学院先端物質科学研究科  
半導体集積科学専攻

助教 花房 宏明

共同研究者 教授 東 清一郎

2019年9月19日



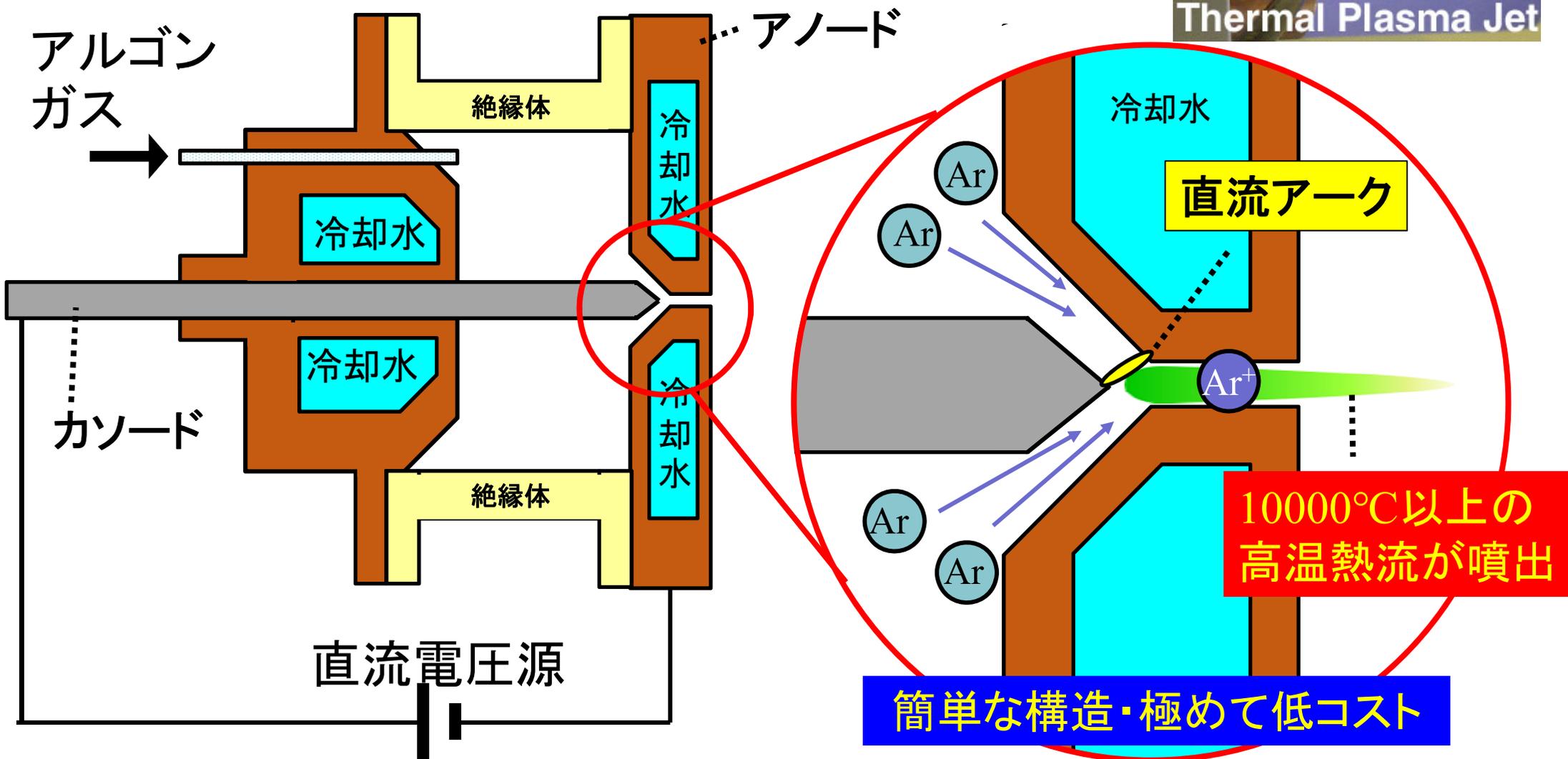
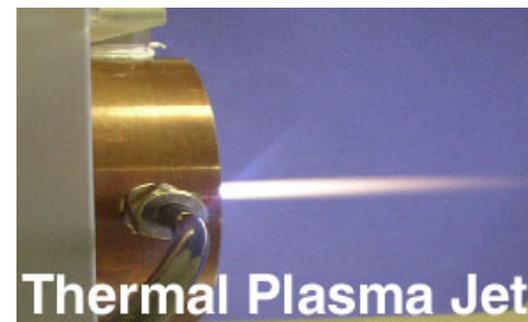
# 新技術の概要

- 我々は10000°C以上の超高温高密度ガスを噴出する  
**“大気圧熱プラズマジェット”**を用いた  
熱処理システムの研究を進めてきました。
- 従来は点状の熱源であった大気圧熱プラズマジェットに対し、  
**高出力化**と**磁場による制御**を組み合わせることで  
**大面積処理の実現に資する成果**を得ました。
- 大気圧かつ自在な雰囲気環境にて加熱・表面反応・成膜・  
エッチング・改質等のプロセスを行う新しい熱アニール・反  
応システム機器への応用が期待出来ます。

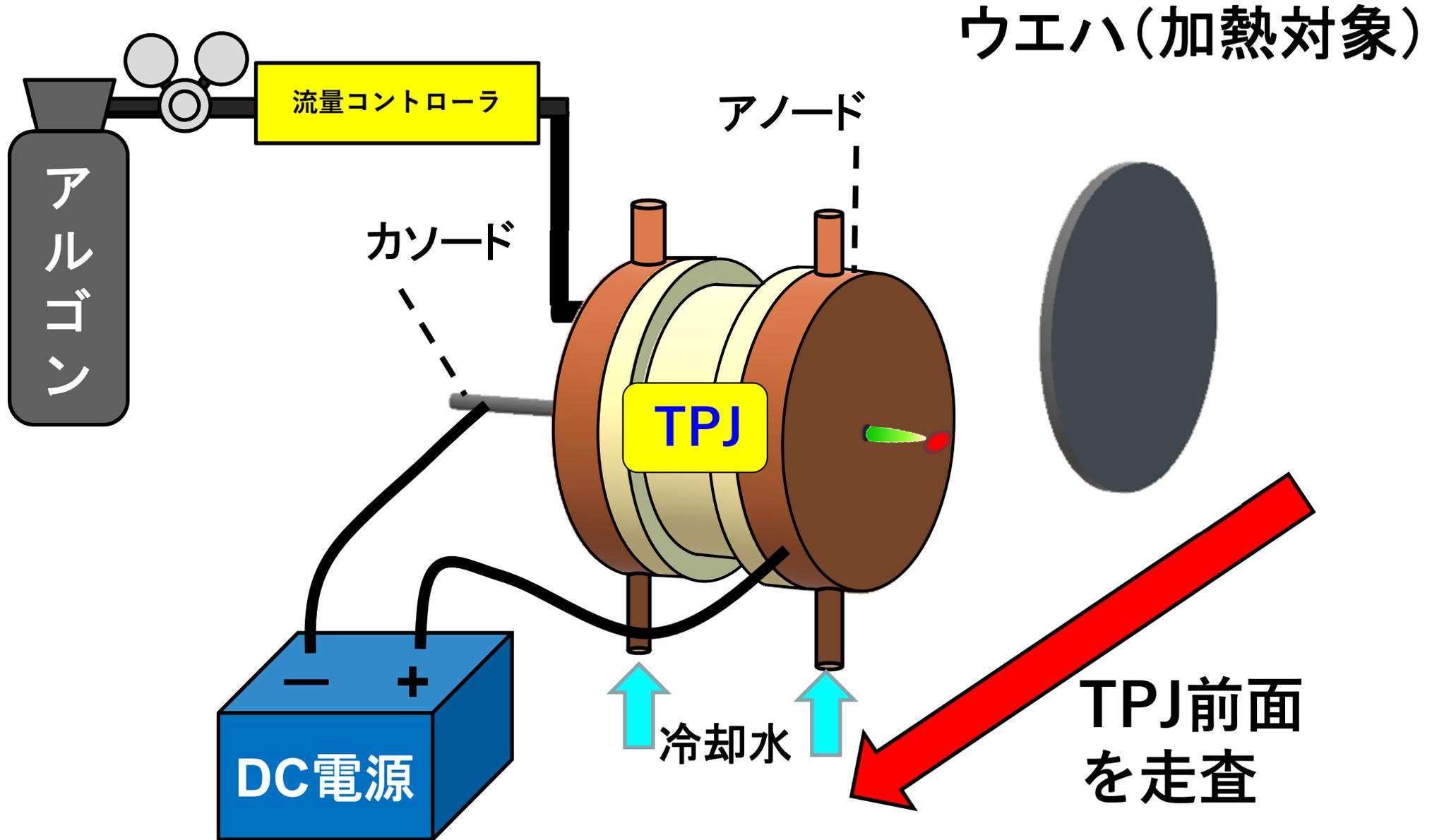


# 大気圧熱プラズマジェットとは

**TPJ: Atmospheric pressure Thermal Plasma Jet**

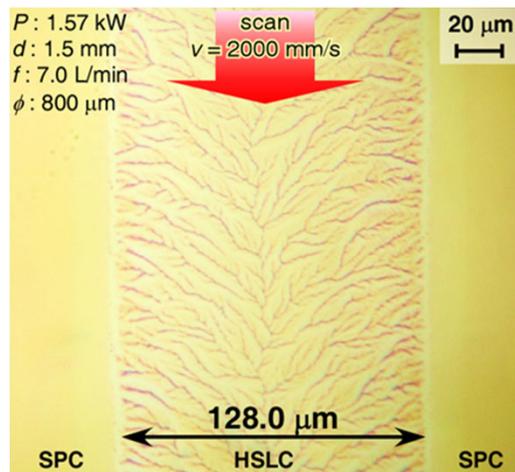


# TPJによるアニール

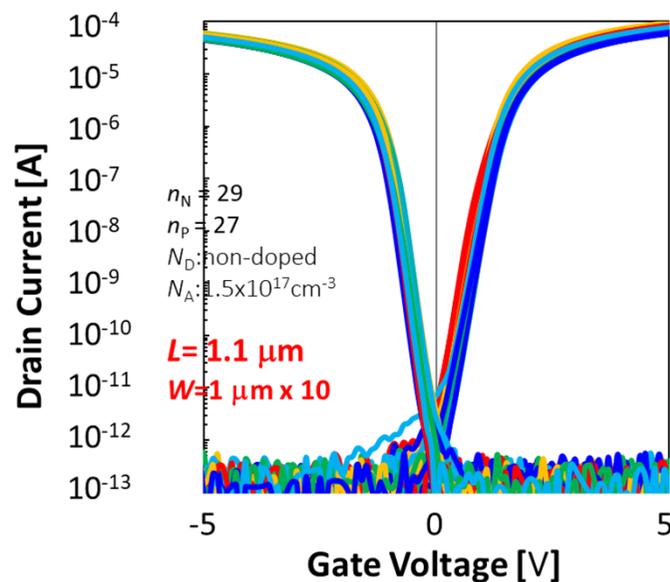


# TPJの応用事例

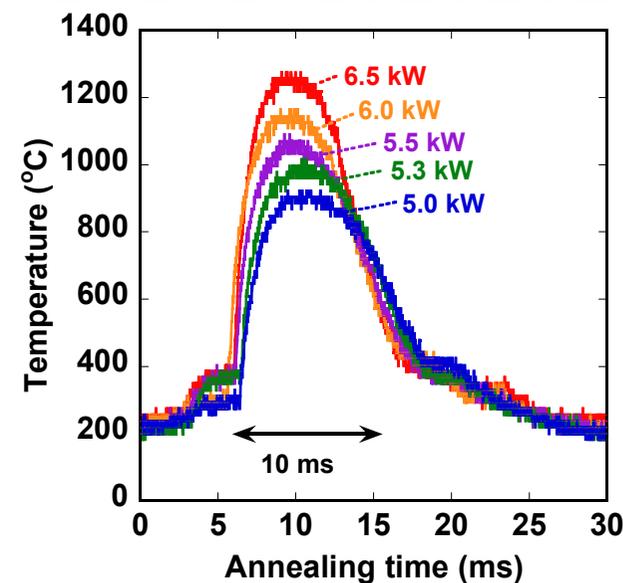
- ガラス・石英基板上アモルファスシリコンの熔融結晶化  
– 薄膜トランジスタ、薄膜太陽電池、薄膜電子デバイス
- 二酸化ケイ素膜の緻密化熱処理
- 炭化ケイ素や窒化ガリウム半導体の短時間高温熱処理
- 超高温熱酸化



アモルファスシリコンの  
高速熔融結晶化後の写真



TPJプロセスを利用した  
薄膜トランジスタの伝達特性



窒化ガリウムの  
ミリ秒TPJアニール

# TPJアニールのポイント

## ■従来の高速アニール技術とその問題点

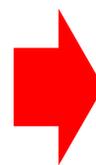
レーザーアニール（パルスレーザー、CWレーザーなど）

- > 高コスト（初期コスト、ランニングコスト）大面積化が困難
- > 電力・熱エネルギー変換効率はせいぜい30%
- > 透明材料は光吸収率を考慮する必要がある。

## ■TPJの特徴

- > 急速高温熱処理に対応
- > 低コスト・高い電力変換効率・高エネルギー密度の熱流生成
- > 透明材料も効率的に加熱可能
- > 連続加熱の熱源としては最も高いエネルギー密度

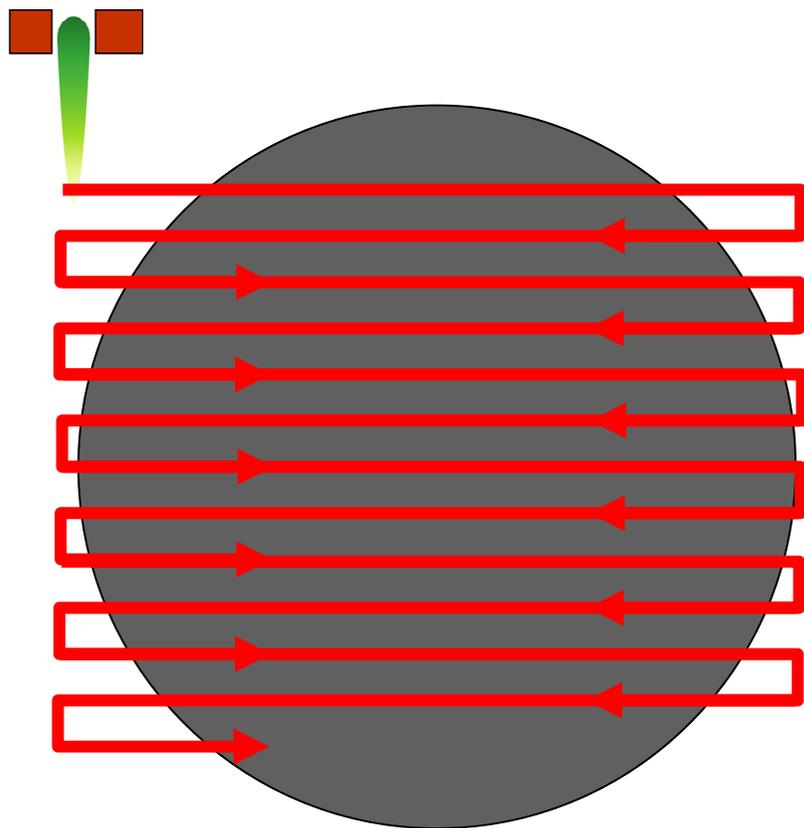
- > トランジスタ応用を実証済み
- > 透明材料でも超高温まで加熱可能



清浄さを求められる  
半導体プロセスにも対応

# 従来のTPJプロセスにおける課題

ラスタースキャンにより膨大な処理時間を要する

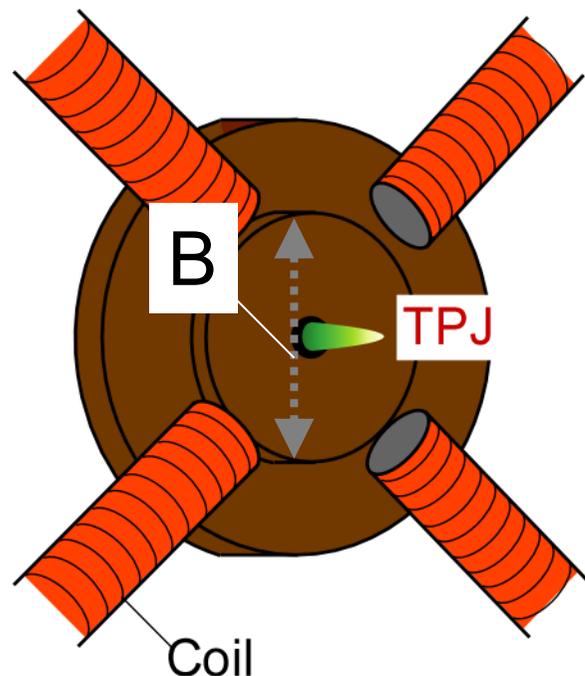


4インチウエハ: 100往復  
8インチウエハ: 200往復

ウエハ移動ステージの  
加減速も伴い、スループ  
ットが悪い

# 大面積化に向けて①

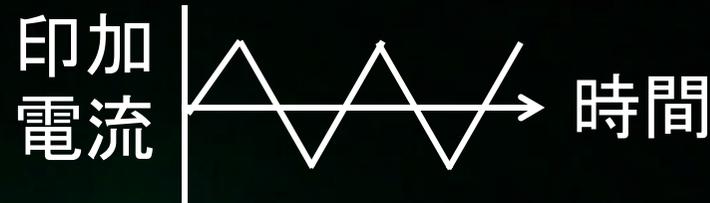
## 電磁石による磁場を用いたTPJの噴出方向制御



電磁石を用いて垂直方向に交番磁場を印加

磁場制御により**TPJに指向性を与える**ことが可能に！

減光板を介して撮影



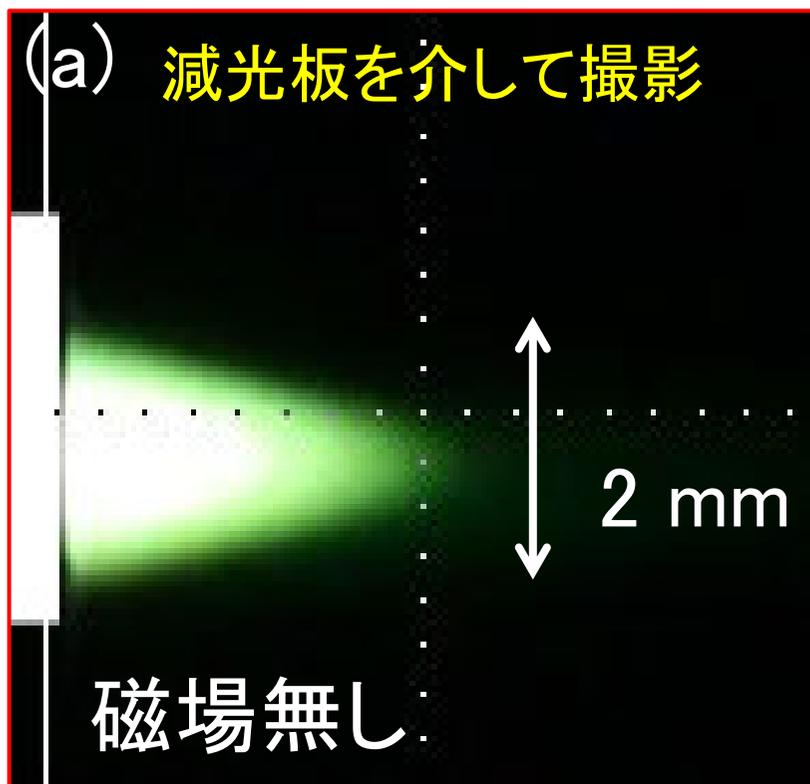
噴射口

TPJ

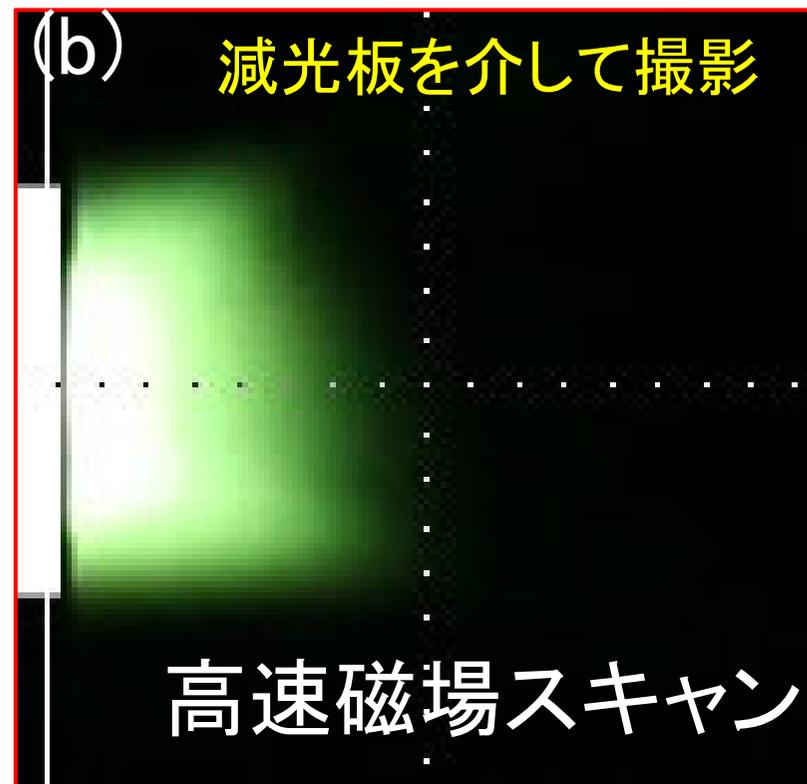
左右にTPJの噴出方向が振動

# 大面積化に向けて①

磁場を生成する交番電流の周波数を高くし、  
高速スキャン・・・ライン状のTPJ生成を実現



通常のTPJ

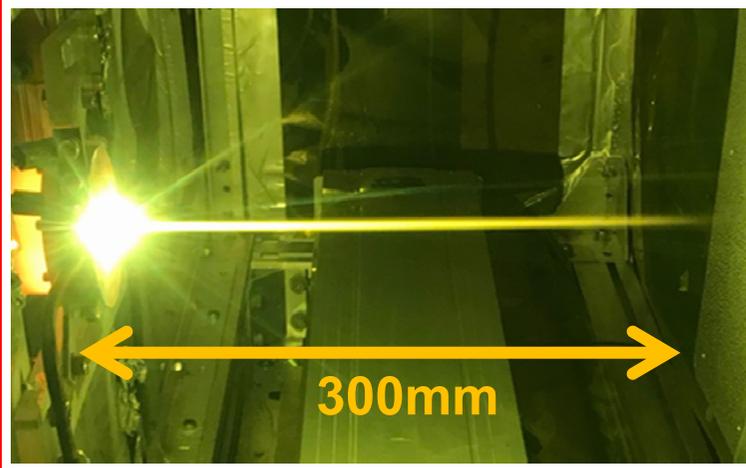


ライン状TPJ

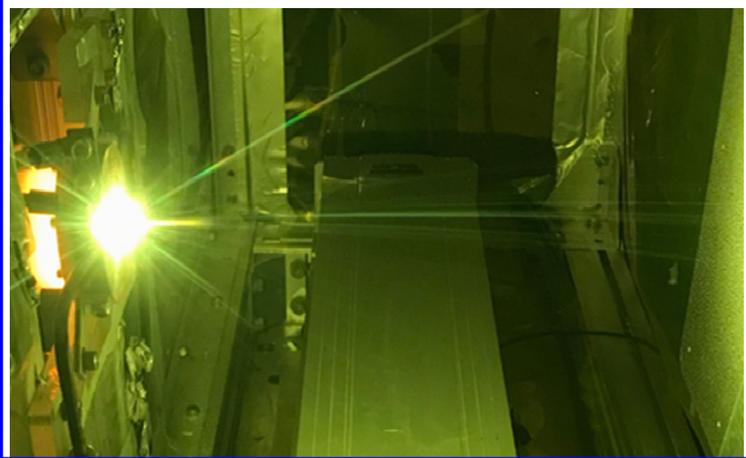
# 大面積化に向けて②

## 窒素添加によるTPJの伸張・大出力化

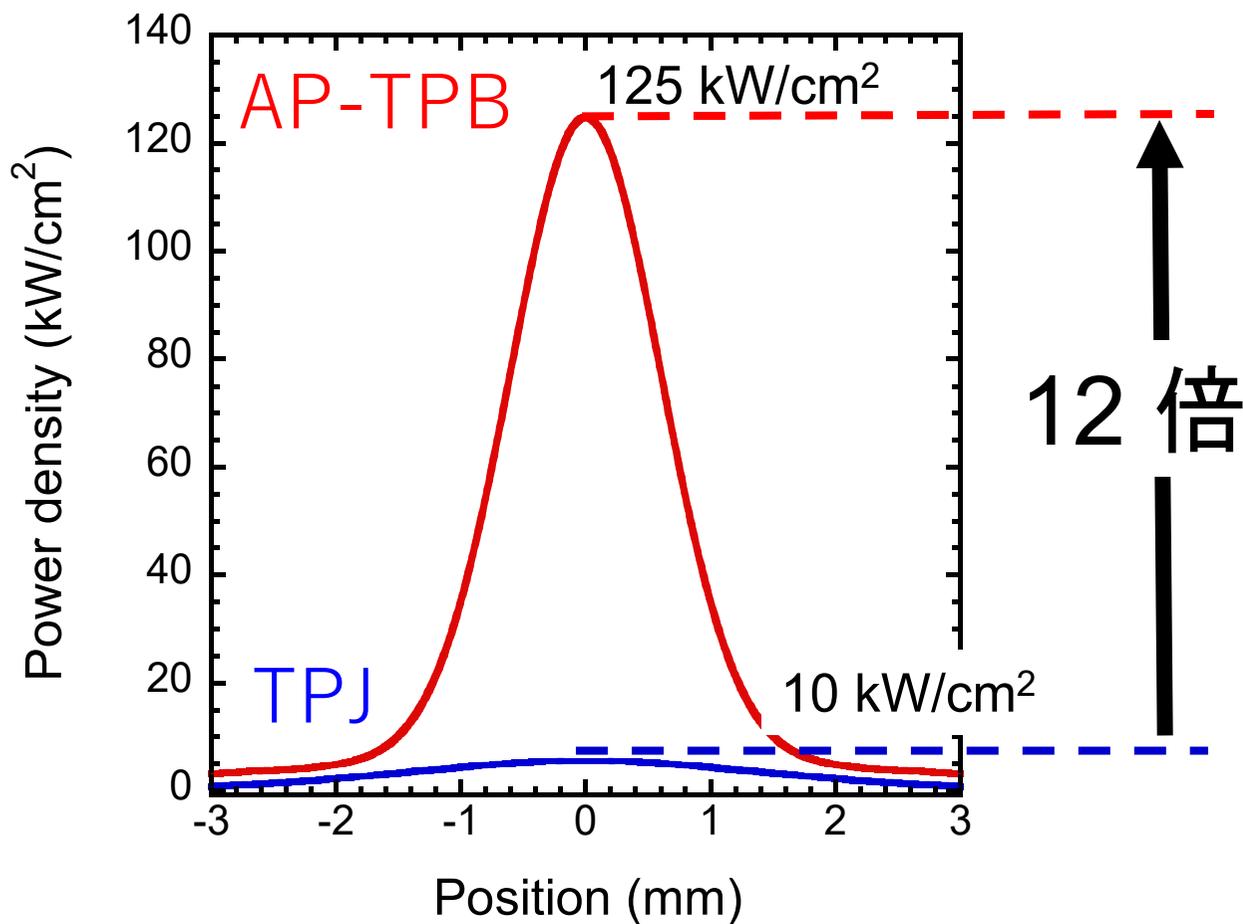
大気圧熱プラズマビーム  
AP-TPB



従来のTPJ

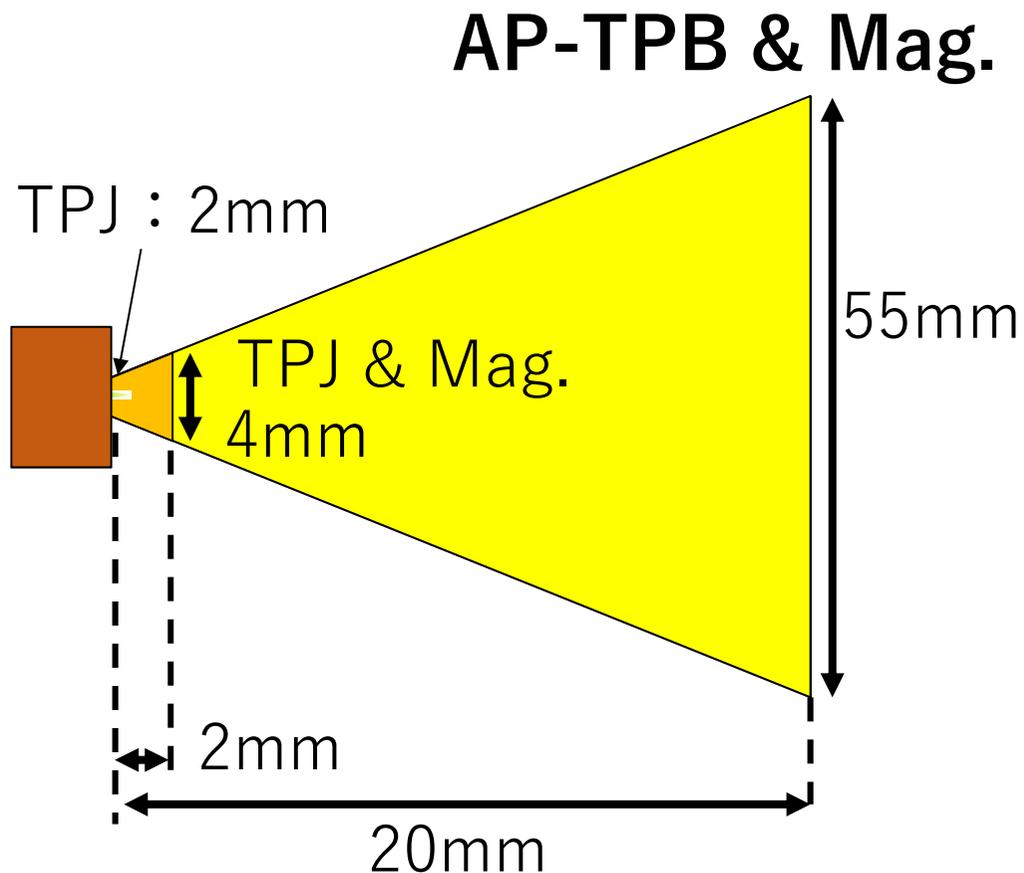


### パワー密度の大幅な向上



# 新技術

## AP-TPBと磁場スキャンを組み合わせる

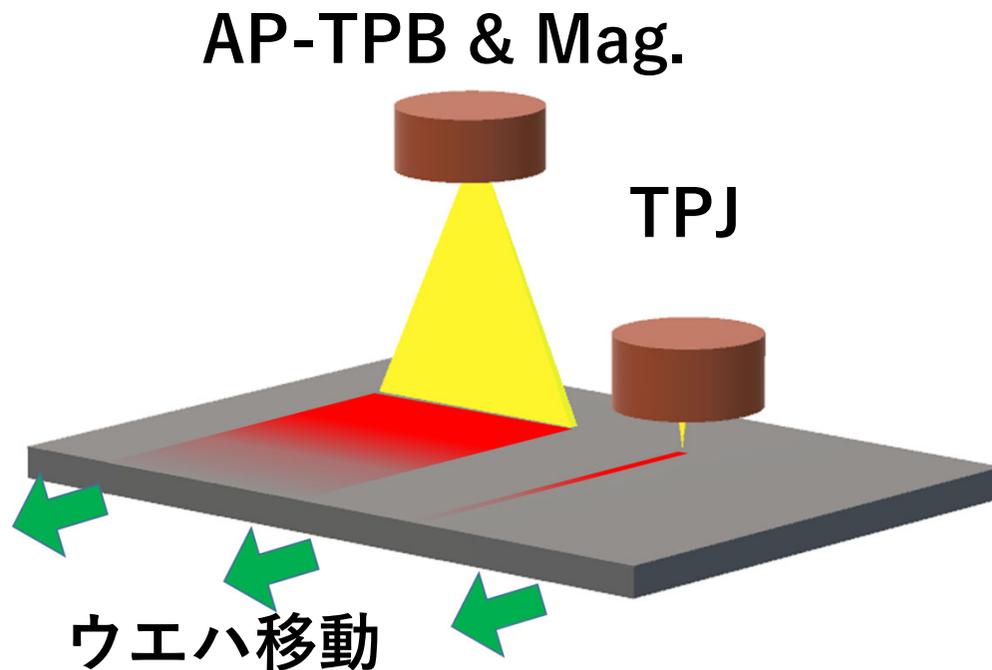


従来

4インチウエハ: 100往復  
8インチウエハ: 200往復

新技術

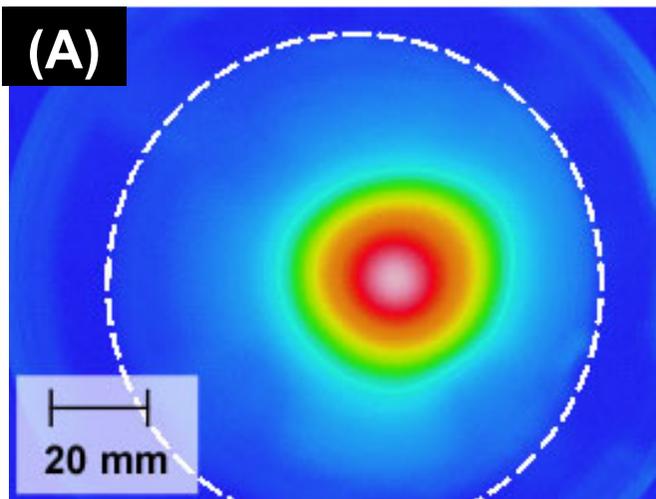
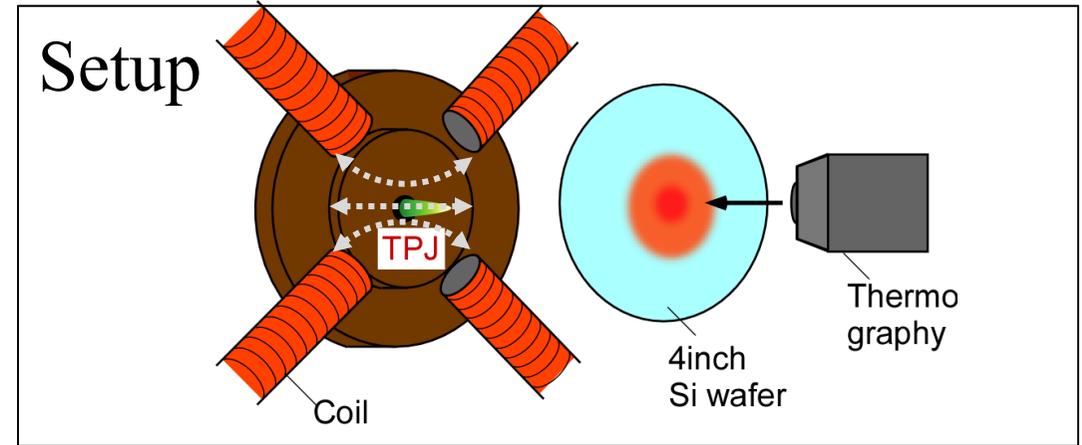
4インチウエハ: 1往復  
8インチウエハ: 2往復



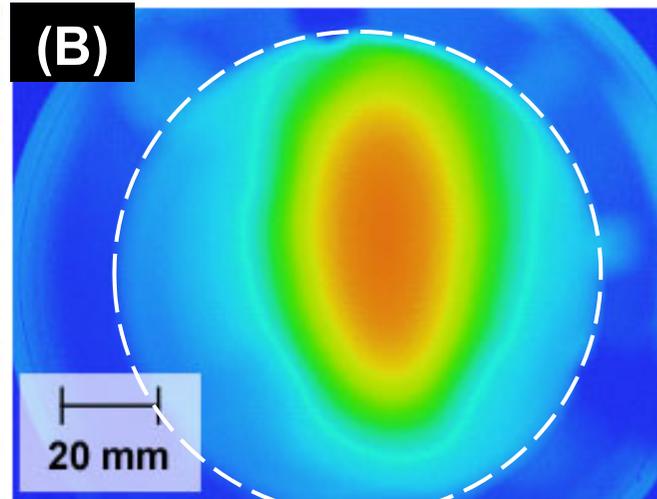
## TPJ & Mag.

TPJ-ウエハ間距離 50mm

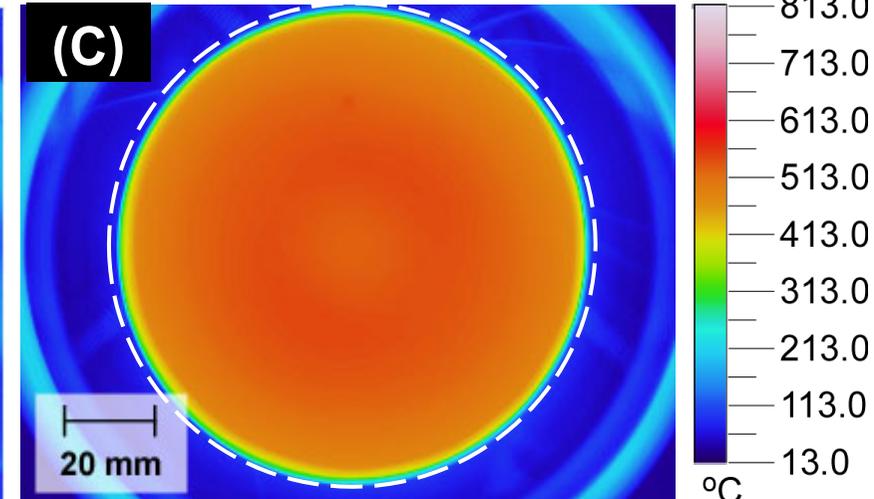
4インチSiウエハ



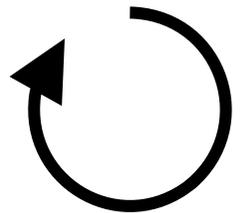
磁場無し



磁場有り

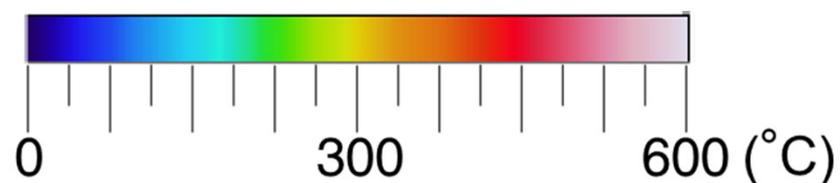
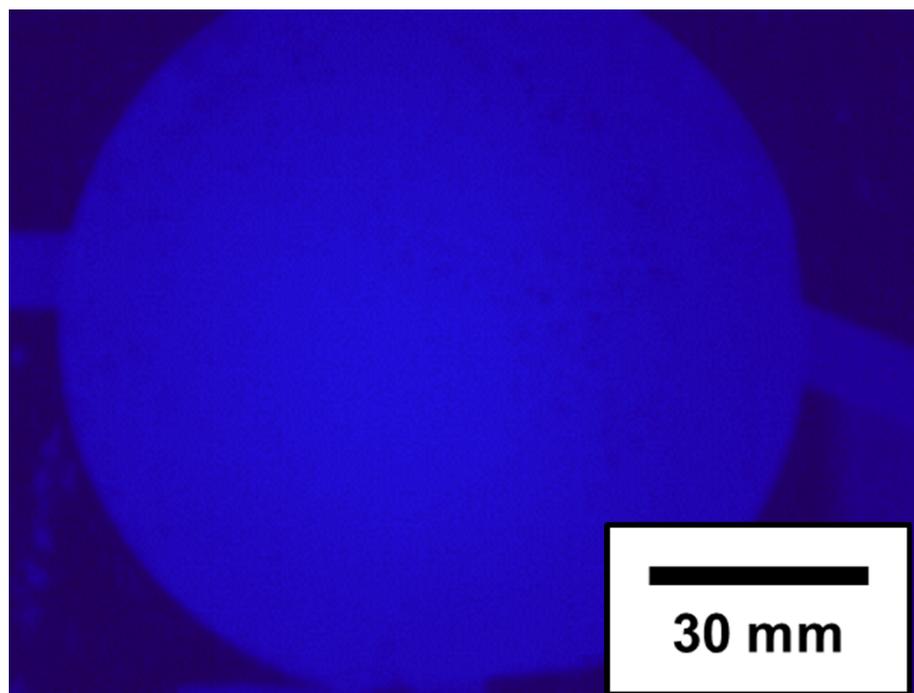


磁場有り +  
ウエハ回転



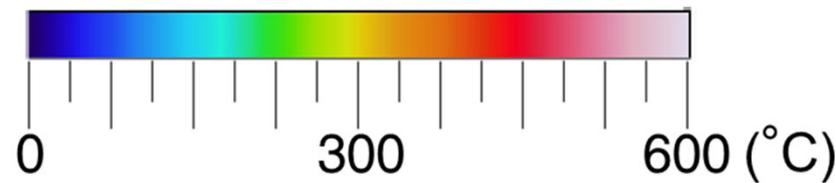
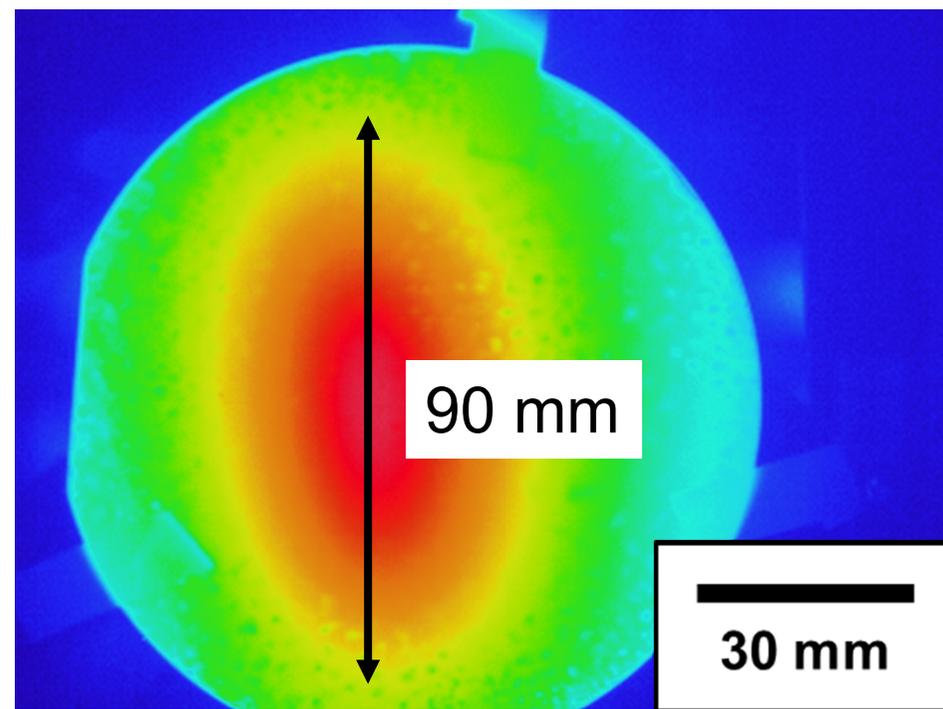
## TPJ & Mag.

TPJ-ウエハ間距離 150mm



## AP-TPB & Mag.

TPJ-ウエハ間距離 150mm



# 新技術の特徴・従来技術との比較

- 従来技術の問題点であった、TPJの照射面積をAP-TPBと電磁石の組みあわせにより改良することに成功した。
- 熱流に指向性を持たせるとともに、高速にスキャンすることも可能に。
- 本技術の適用により、スループットの大幅な増大が見込まれ、照射コストが1/100程度まで削減されることが期待される。

# 想定される用途

- 瞬時に起動し、スループットが大幅に向上したことから、**必要時に必要な分起動し、処理を行う省エネルギー型の大面積汎用アニール装置**
- 超急速熱処理装置
- AP-TPBの照射箇所を磁場で制御することでウエハ内に**必要な箇所だけ昇温を行う局所高温加熱**が実現できる。
- 収束した高温熱流ビームによる処理（殺菌・改質・加工）・熱の輸送等

# 実用化に向けた課題

- 今後、どこまでAP-TPBが延伸し、どこまで照射範囲を大きくすることができるのか実験データを取得し、条件設定を行っている。
- 実用化に向けて、装置の大型化・多並列化（マルチノズル化）をできる技術を確立する必要もあり。
- 投入電力と装置損耗率等の関係、装置状態維持の運用指針の設定などが未解決。

# 企業への期待

- どこまで大出力化できるかなどは高耐熱材料の加工や効果的な冷却構造の技術により最適化を進めていきたい。
- 特に高温プラズマの制御技術を持つ、プラズマトーチ等の経験を有する企業との共同研究を希望。
- また、熱処理システムの革新を考えている企業には、本技術の導入が有効と思われる。

# 本技術に関する知的財産権

- 発明の名称 : 表面処理装置
- 出願番号 : 特願2019-118679
- 出願人 : 国立大学法人広島大学
- 発明者 : 花房宏明、東清一郎

# お問い合わせ先

広島大学

産学・地域連携センター産学連携部門

産学官連携コーディネーター 柳 和裕

T E L 082-424-4305

F A X 082-424-6189

e-mail [yanagi@Hiroshima-u.ac.jp](mailto:yanagi@Hiroshima-u.ac.jp)

