



2009.07.30 BEANSプロジェクトセミナー

# Macro BEANSの メーター級大面積高機能デバイス実現化戦略

伊藤寿浩

BEANSプロジェクト 産業技術総合研究所  
Macro BEANSセンター長  
先進製造プロセス研究部門  
ネットワークMEMS研究グループ長  
(兼) Macro BEANS連携研究体長

# 大面積デバイスへの期待

## “Ambient Devices: アンビエントデバイス”

(日経MICRODEVICES 2009/7 No.289)

- ・ 実世界のありふれたモノに、多様かつ大量の入出力素子を作り込む
- ・ アンビエント・デバイスの進化：  
    デバイスの面積×機能×利用する場所 ↗
- ・ 「入力機能」と「出力機能」を環境や人との親和性に優れる
- ・ 想定使用例
  - － 入力機能の分散配置
    - モニタリング：自動車ボディ・モニタ・システム
    - 集合知：次世界検索
  - － 出力機能の分散配置
    - 大面積化：壁面ディスプレイ
    - 情報の見える化：薬の名称や服用方法を見せる机
    - 誘導：サイネージでの誘導
  - － 入出力機能の分散配置
    - 双方マーケティング：消費者の状態に応じた広告

# 大面積デバイスの課題と Macro BEANSの戦略

## <課題>

- ・プロセス装置の大型化
- ・デバイスの高機能化・高性能化
- ・基板の大型化
- ・製造プロセスの連続化・高速化
- ・デバイスのフレキシブル化

“脱・真空チャンバー”  
で高品位シリコン膜の大面積低温成膜

繊維状基材のリールツーリールプロセス  
と機織りでフレキシブルデバイス  
“Weaving MEMS”

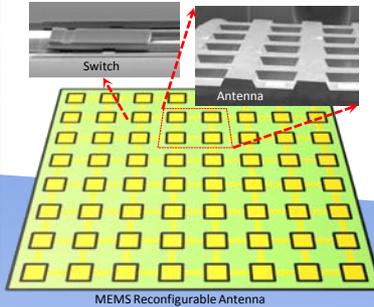
# Macro BEANSの全体像



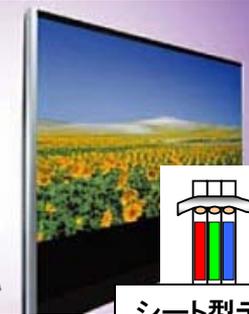
## 大面積エネルギーハーベスティングデバイス



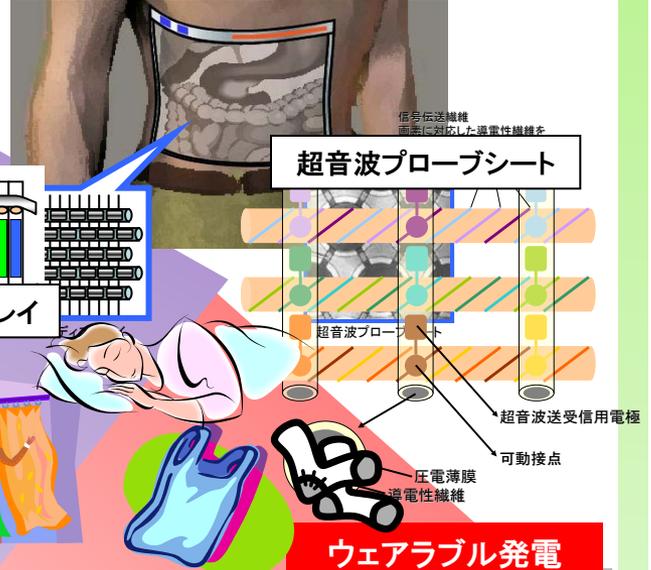
## 大面積通信デバイス



## 大面積映像デバイス



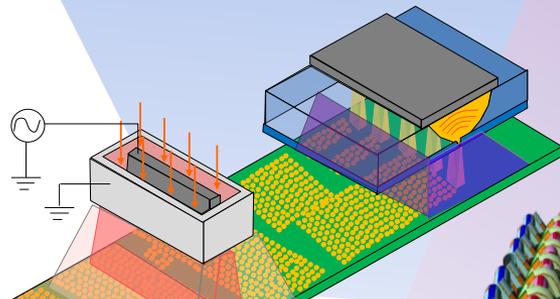
## シート型健康管理デバイス



光電効果・piezo抵抗効果・熱電効果・ゼーベック効果・ペルチェ効果を利用した大面積Siデバイス

## メーター級大面積デバイス

マイクロ・ナノ構造を有する高品位機能膜をメーター級の基板に真空プロセス装置を用いずに形成する製造技術を開発する



## 非真空高品位ナノ機能膜大面積形成プロセス技術

## フレキシブルシートデバイス

フレキシブルシートデバイスを基板の大面積化を伴うことなく実現する、製織技術などを活用した新たな製造技術を開発する



## 繊維状基材連続微細加工・集積化プロセス技術

## ウェアラブル発電



## 安全安心ジャケット

# Macro BEANSの共通技術



メーター級デバイス  
 ・大面積エネルギーハーベスティングデバイス  
 ・大面積映像デバイス

② 3次元ナノ構造形成プロセス技術の開発

フレキシブルシートデバイス  
 ・シート型健康管理デバイス  
 ・ウェアラブル発電  
 ・安全安心ジャケット

プラズマプロセス ↔ 大面積化プロセス

**○共通技術：非真空高品位機能膜パターン形成**

- ・大気圧プラズマ技術(1)
- ・ナノ機能膜塗布技術(1)：ミストジェット，エレクトロスプレー
- ・多層ダイコーティング(2)
- ・パターン塗布（インクジェット）(2)

・非真空マイクロ・ナノ構造高品位機能膜形成プロセス

非真空高品位機能膜形成

・連続的高品位機能膜被覆プロセス

(1)非真空高品位ナノ機能膜大面積形成プロセス技術

(2)繊維状基材連続微細加工・集積化プロセス技術

自己組織化プロセス ↔ シート型健康管理デバイス実装プロセス

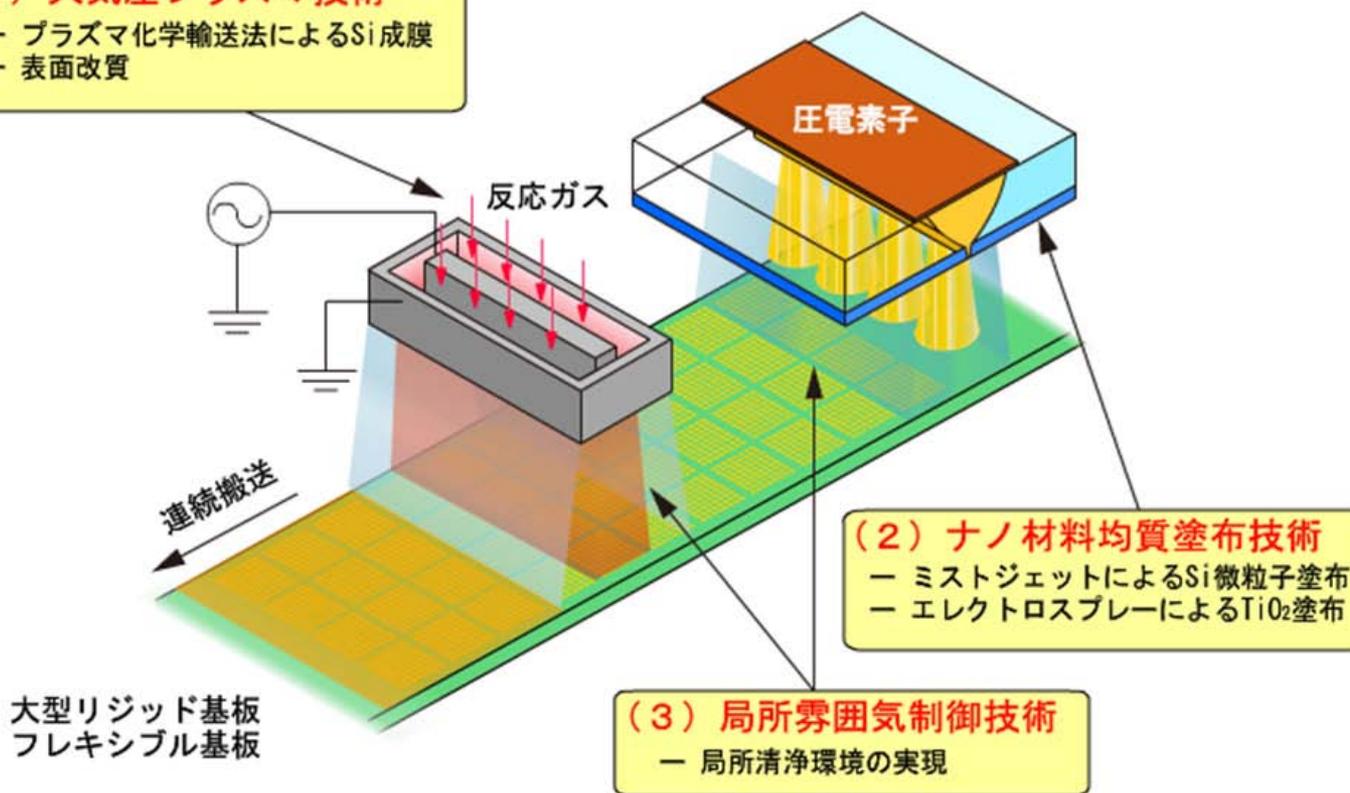
① バイオ・有機材料融合プロセス技術の開発

# 目標とする非真空プロセスの最終形態イメージ



## (1) 大気圧プラズマ技術

- プラズマ化学輸送法によるSi成膜
- 表面改質



## (2) ナノ材料均質塗布技術

- ミストジェットによるSi微粒子塗布
- エレクトロスプレーによるTiO<sub>2</sub>塗布

## (3) 局所雰囲気制御技術

- 局所清浄環境の実現

大型リジッド基板  
フレキシブル基板

## 1. なぜ、プラズマ化学輸送法を用いるのか？

- 固体シリコンと水素ガスの反応だけでシリコン膜の形成が可能  
→ **モノシランなど有害な特殊材料ガスを用いない**ため、  
除害装置が不要となり、装置構成を簡便化できる。
- シリコンの**低温成膜**（400 °C以下）が可能  
→ シリコン膜の残留応力低減やフレキシブル基板への適用

## 2. なぜ、大気圧プラズマを用いるのか？

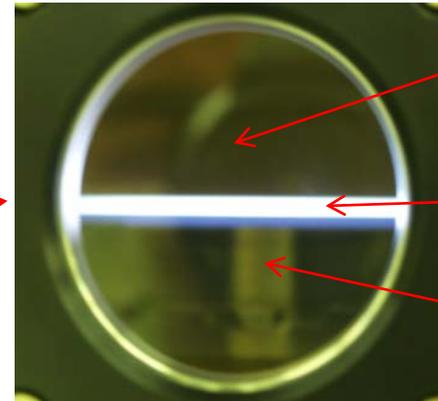
- ガス粒子衝突の増大により成膜に寄与する**活性種を効率的に生成**  
→ 減圧CVDに比して成膜レート向上が期待できる
- **局所雰囲気制御技術**と組み合わせた開発  
→ 真空設備を不要とする非真空プロセスの実現が可能

高性能な真空排気系・除害設備、大型な真空チャンバーが不要  
→ 装置導入コストやランニングコストの大幅な低減

# 密閉型大気圧プラズマ評価設備



## 大気圧プラズマ放電状況



固体Siソース  
付き電極

大気圧  
プラズマ

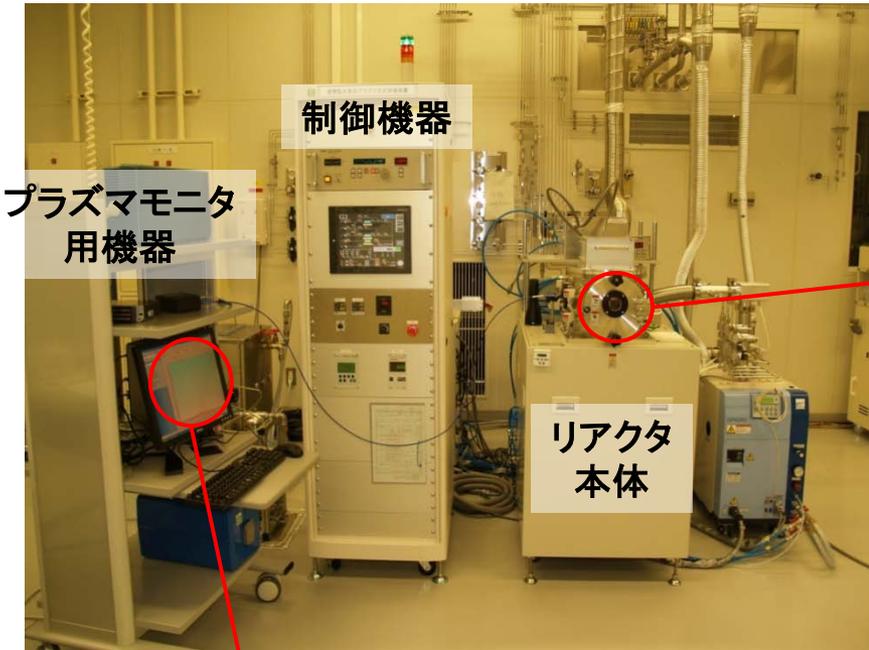
基板ヒーター  
ステージ

安定放電条件  
・ガス圧力 ・電源周波数 ・印加電力

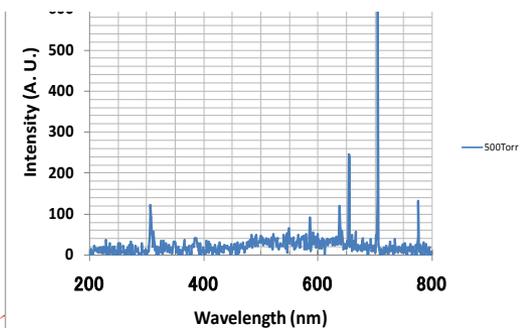
発光解析  
・ラジカル種の種類/強度

Si成膜評価  
・膜特性 ・成膜レート

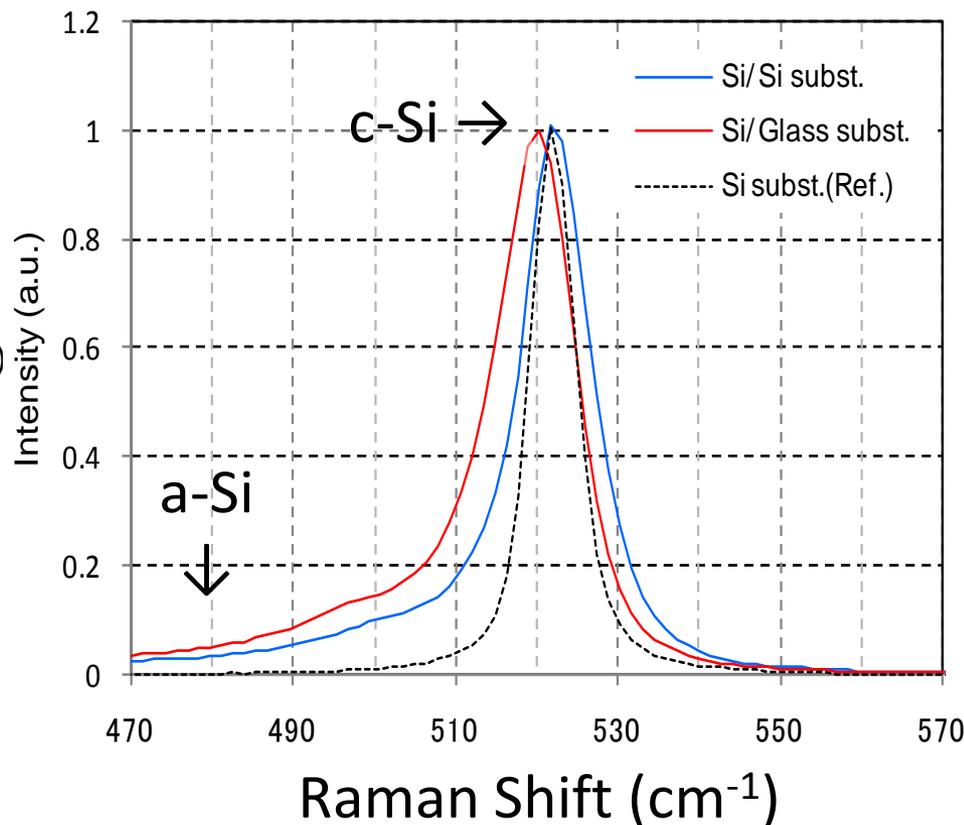
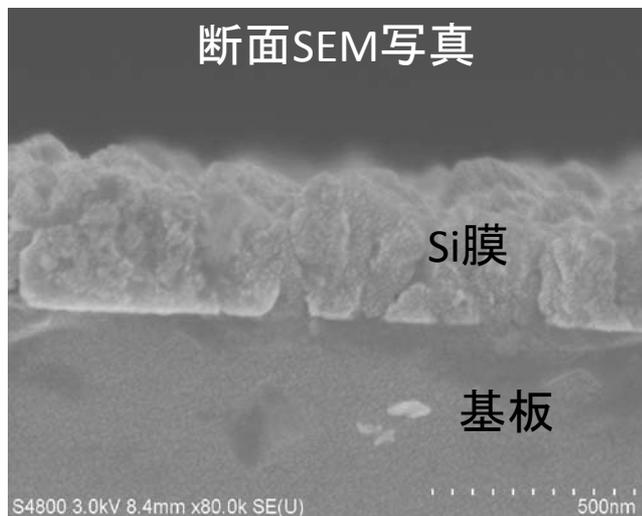
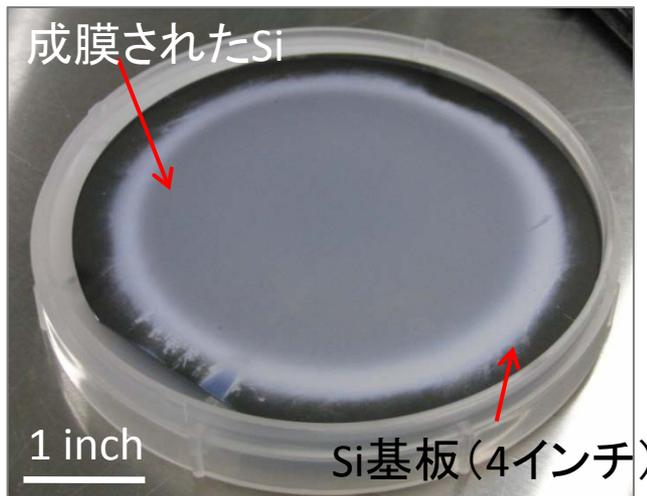
大気圧プラズマの基本特性把握  
とSi高効率成膜の探求



## プラズマ発光スペクトル



# 大気圧プラズマで成膜したSi膜の構造評価

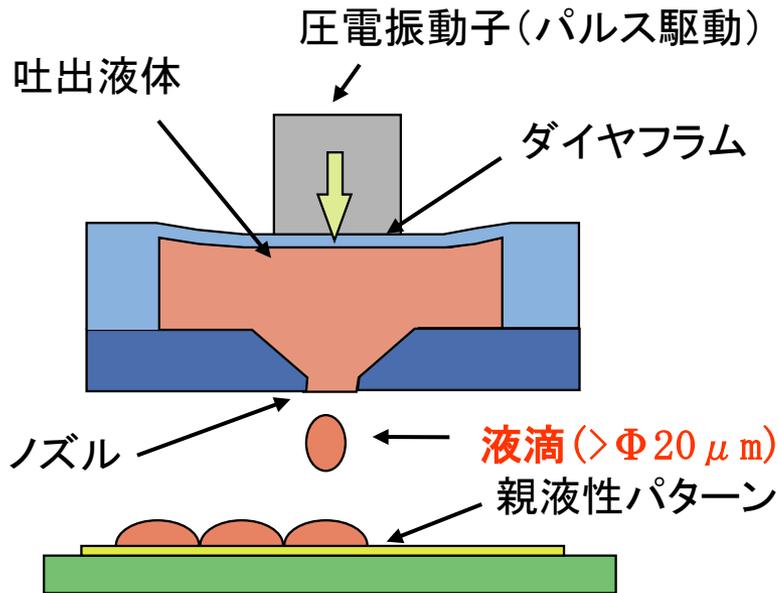


ラマンスペクトルから、  
多結晶Si膜であることを確認

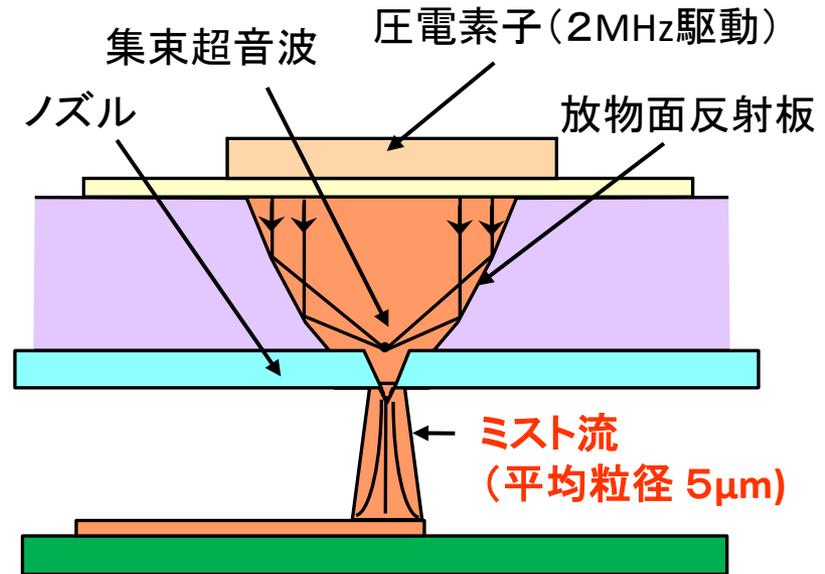
# ミストジェット均質塗布技術

特長（従来インクジェット技術に比して）

1. 超音波エネルギーの利用により平均粒径が数 $\mu\text{m}$ の微粒子群（ミスト）を連続的に吐出可能 → 機能膜の均質化
2. 下地の表面処理が不要 → マスクレスなパターンニング

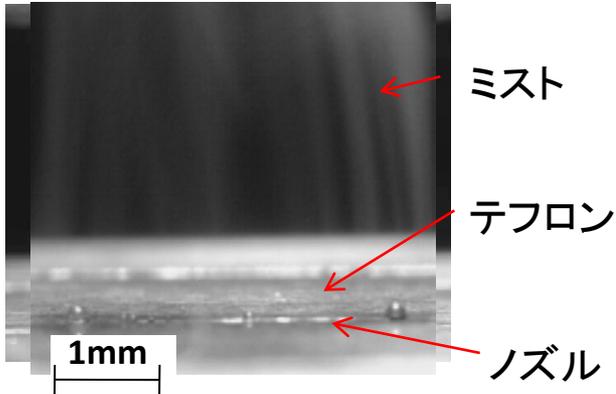


インクジェットヘッド（従来例）

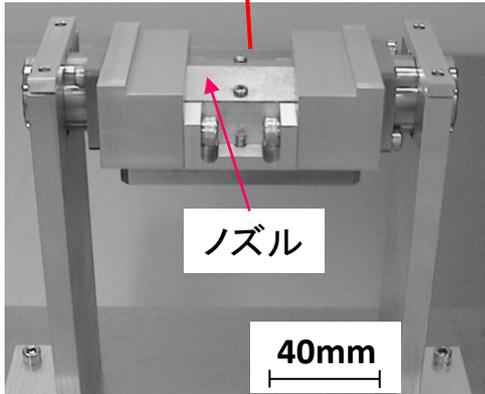


ミストジェットヘッド

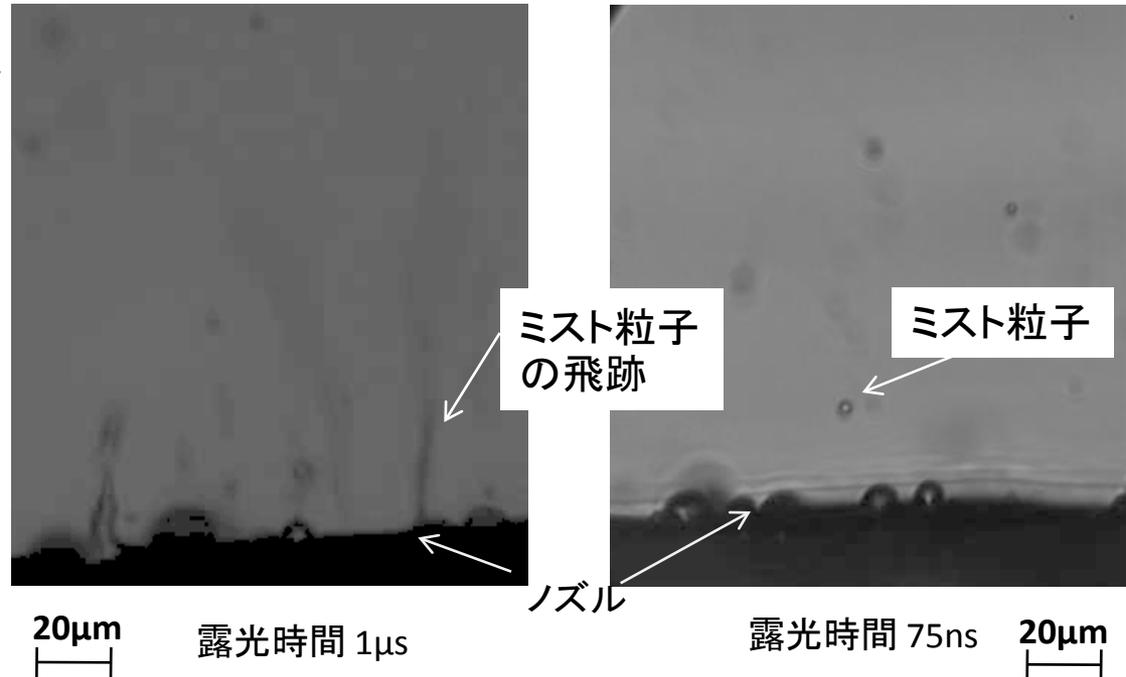
# ミストジェットヘッドによる吐出の様子



水によるミスト吐出状態

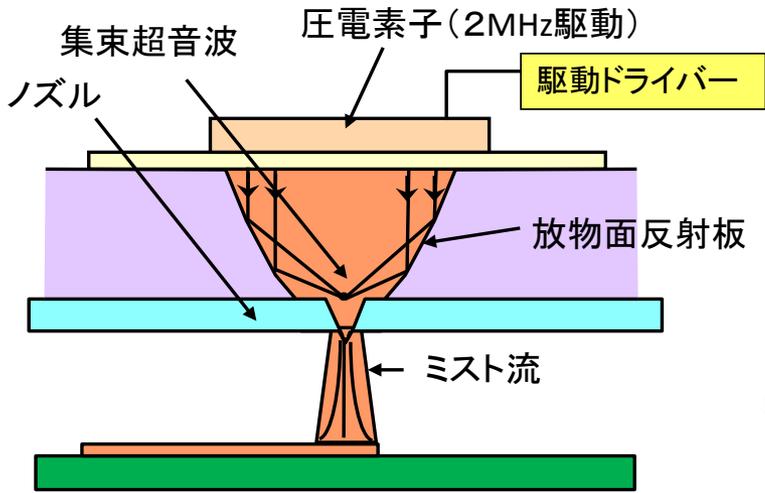


ミストジェット  
ヘッドの外観

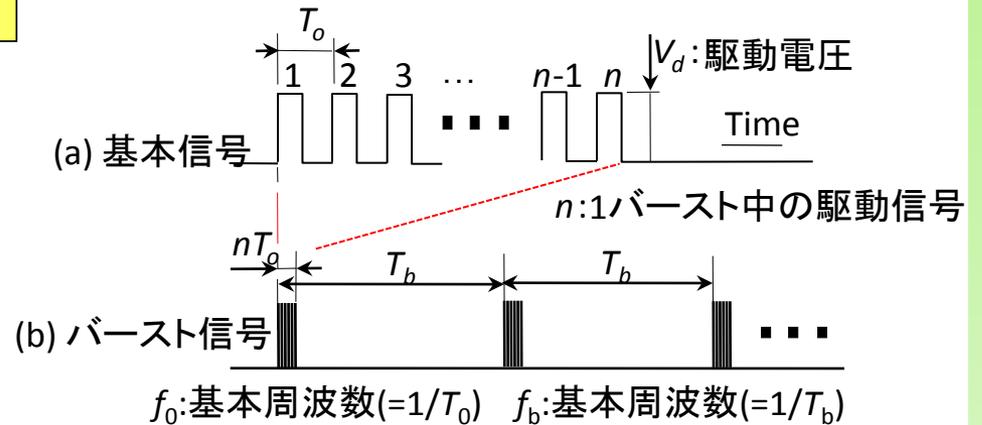


高速度ビデオによる観察

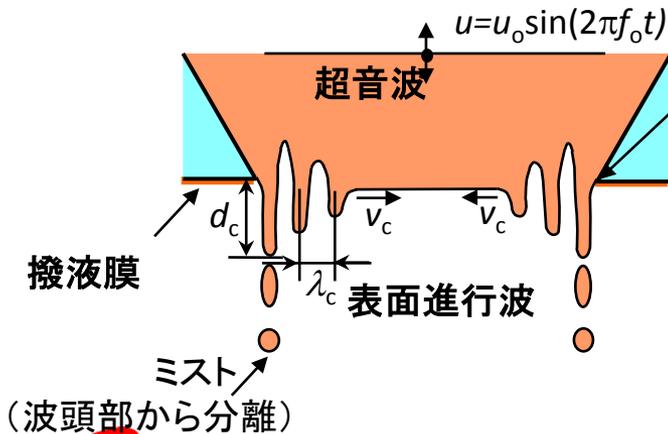
# ミストジェット吐出原理



## ミストジェットヘッド駆動信号



## ノズル開口部液面（メニスカス）に励起される表面進行波の形態



ノズルエッジ(固定端)

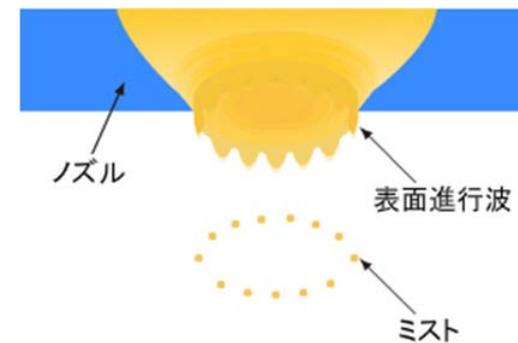
$$v_c = \sqrt{2\pi\sigma/(\rho\lambda_c)}$$

$$\lambda_c = \sqrt[3]{2\pi\sigma/(\rho f_0^2)}$$

$$f_0 = 2 \text{ MHz}$$

$$\rightarrow \lambda_c = 5 \mu\text{m}$$

$$v_c = 10 \text{ m/s}$$



(波頭部から分離)