

# ECRスパッタによる高品質 誘電体薄膜の低温形成

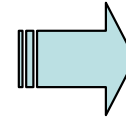
High-k dielectrics deposition by  
ECR sputtering at low temperature

弘前大学大学院 理工学研究科  
知能機械システム工学専攻  
教授 小野 俊郎

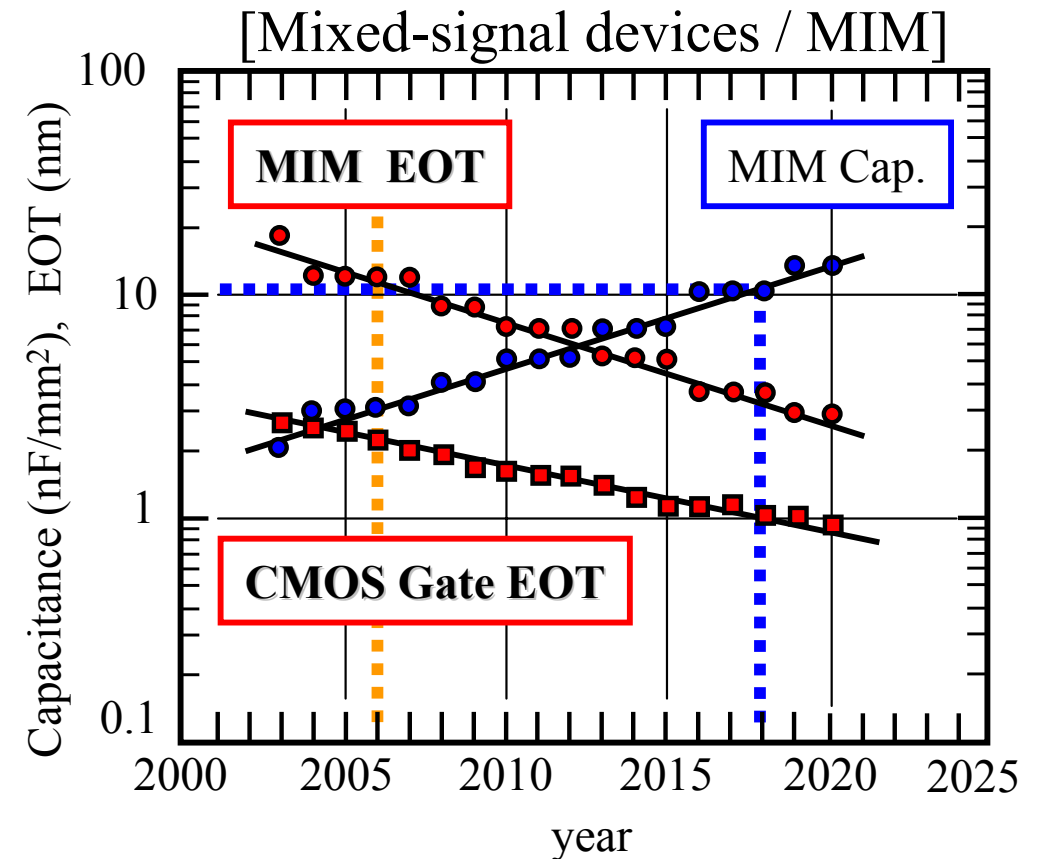
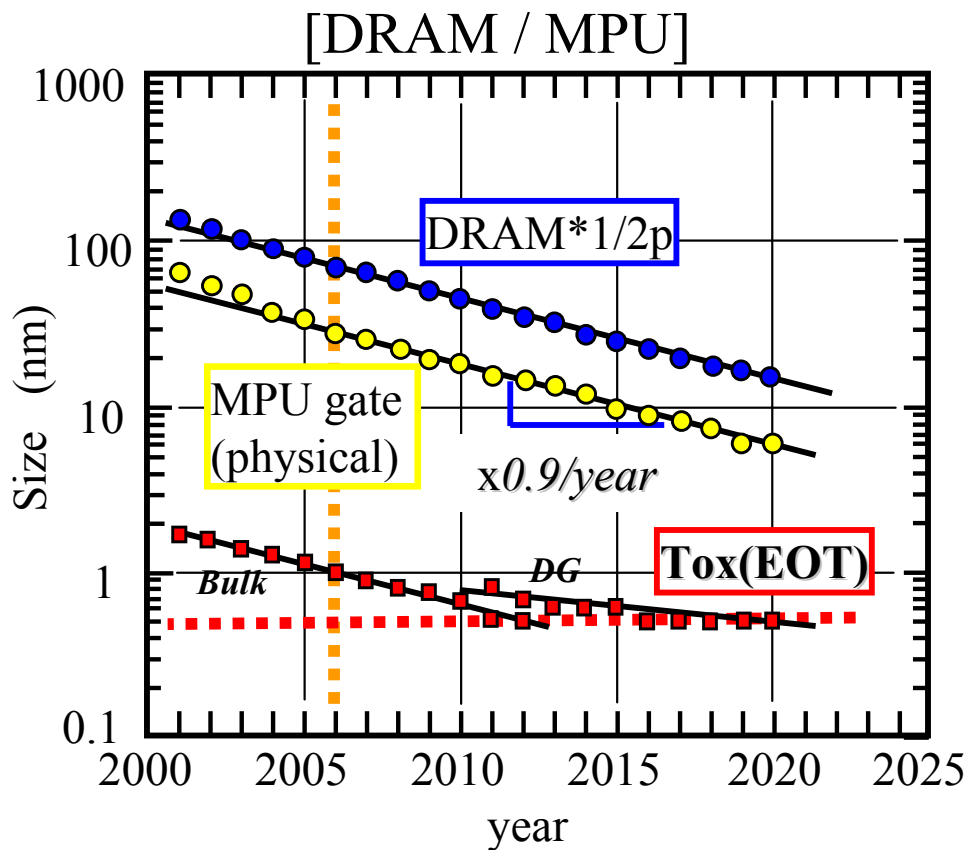
プレゼンテーション番号: 1

# 研究背景

半導体デバイス高性能化:  $x$  K (Moore's Law)  
 → 誘電体:  $x$  K (膜厚:  $x$  1/K)  
 → 極薄SiO<sub>2</sub>(EOT)1.5nm: リーク電流の増大  
 → SiO<sub>2</sub> [ $k = 3.9$ ] から誘電体 (high- $k$ ) 要求



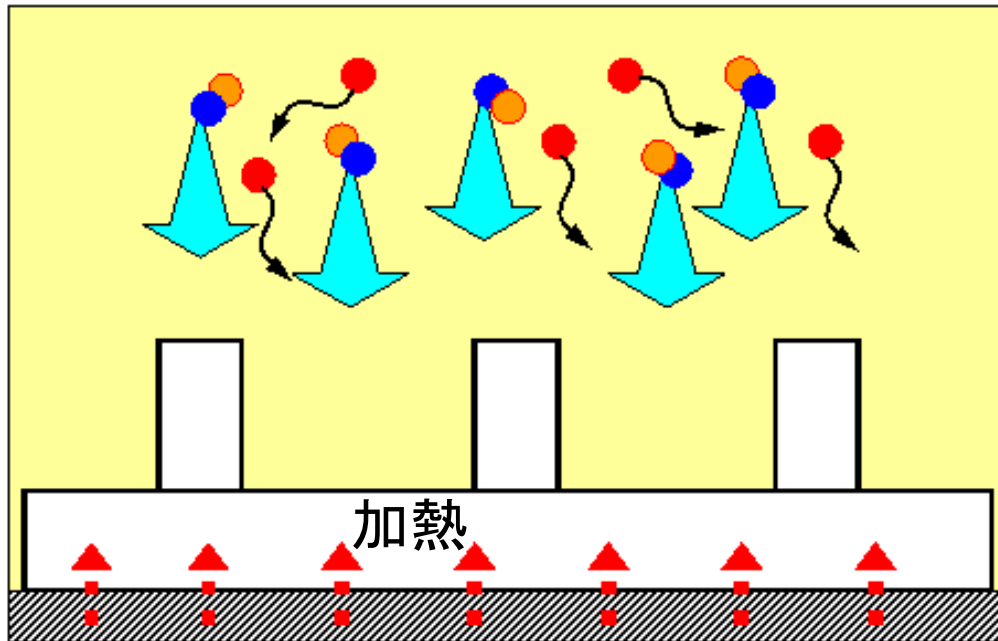
SiON ( $k = 5-6$ )  
 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ( $k = 8-10$ )  
**低温成膜で high- $k$**



(ITRS 2005: International Technology Roadmap for Semiconductor)

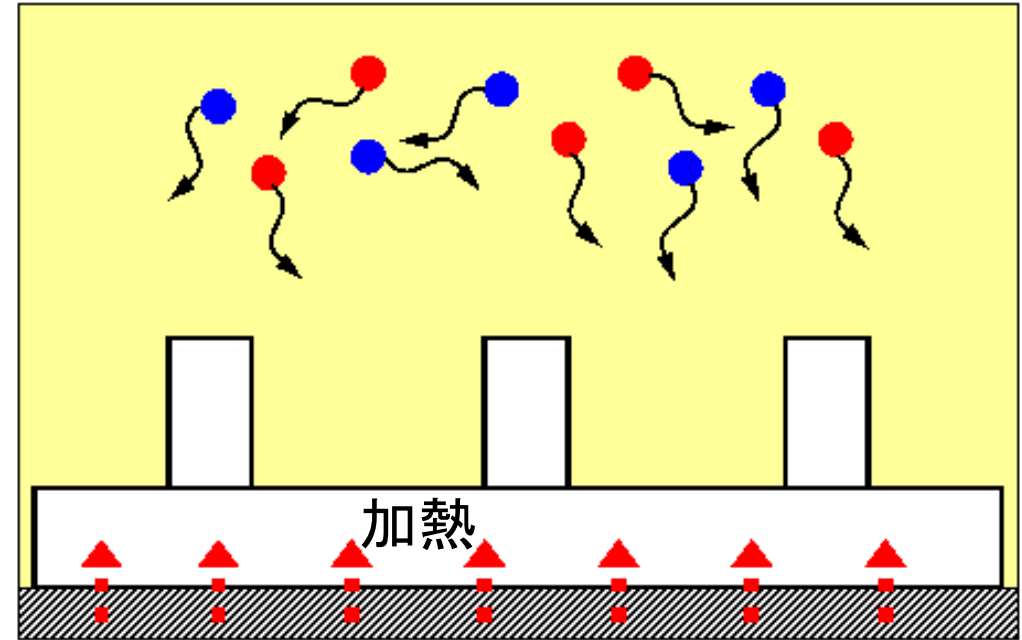
# 従来成膜技術とその問題点

## 【スパッタ法】



- 比較的低温で成膜  
(良質膜には加熱必要)
- 段差被覆性が低い
- 原料の高純度化容易
- 種々の化合物形成に有利

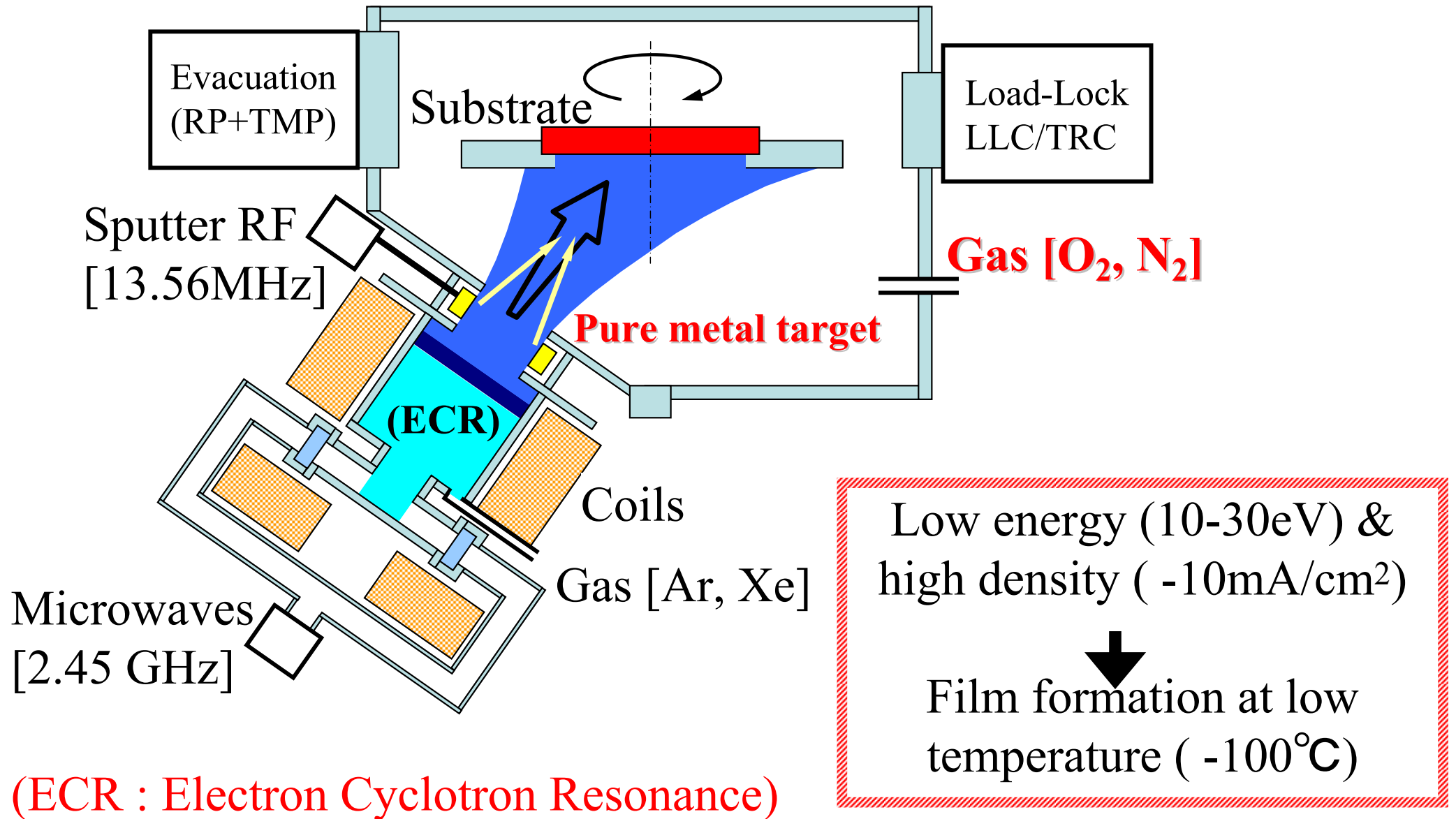
## 【CVD法】



- 比較的高温で良質膜成膜
- 段差被覆が良好
- ガス組成が膜中に取り込まれる
- ガス原料化できる材料に限定

# 新技術の特徴 (1)

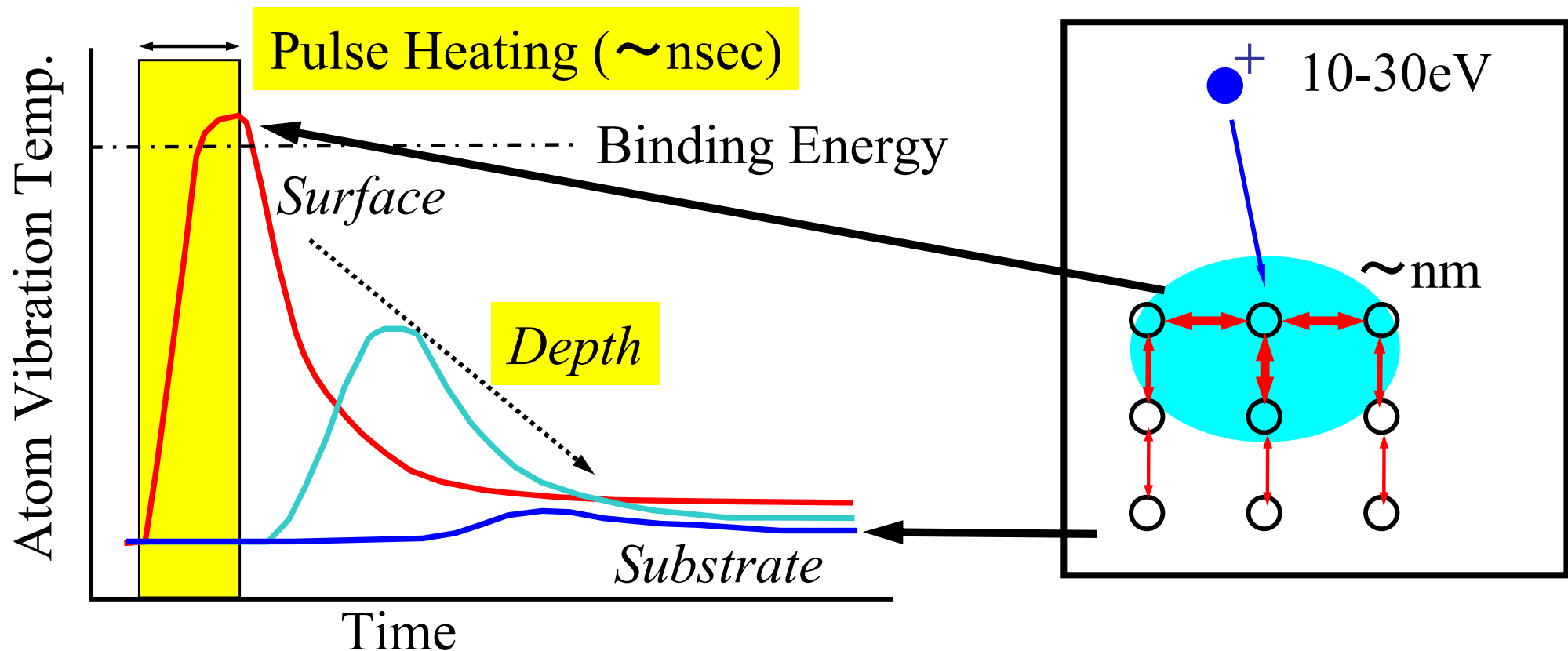
## ECRスパッタ [ECR sputtering deposition]



# 新技術の特徴 (3)

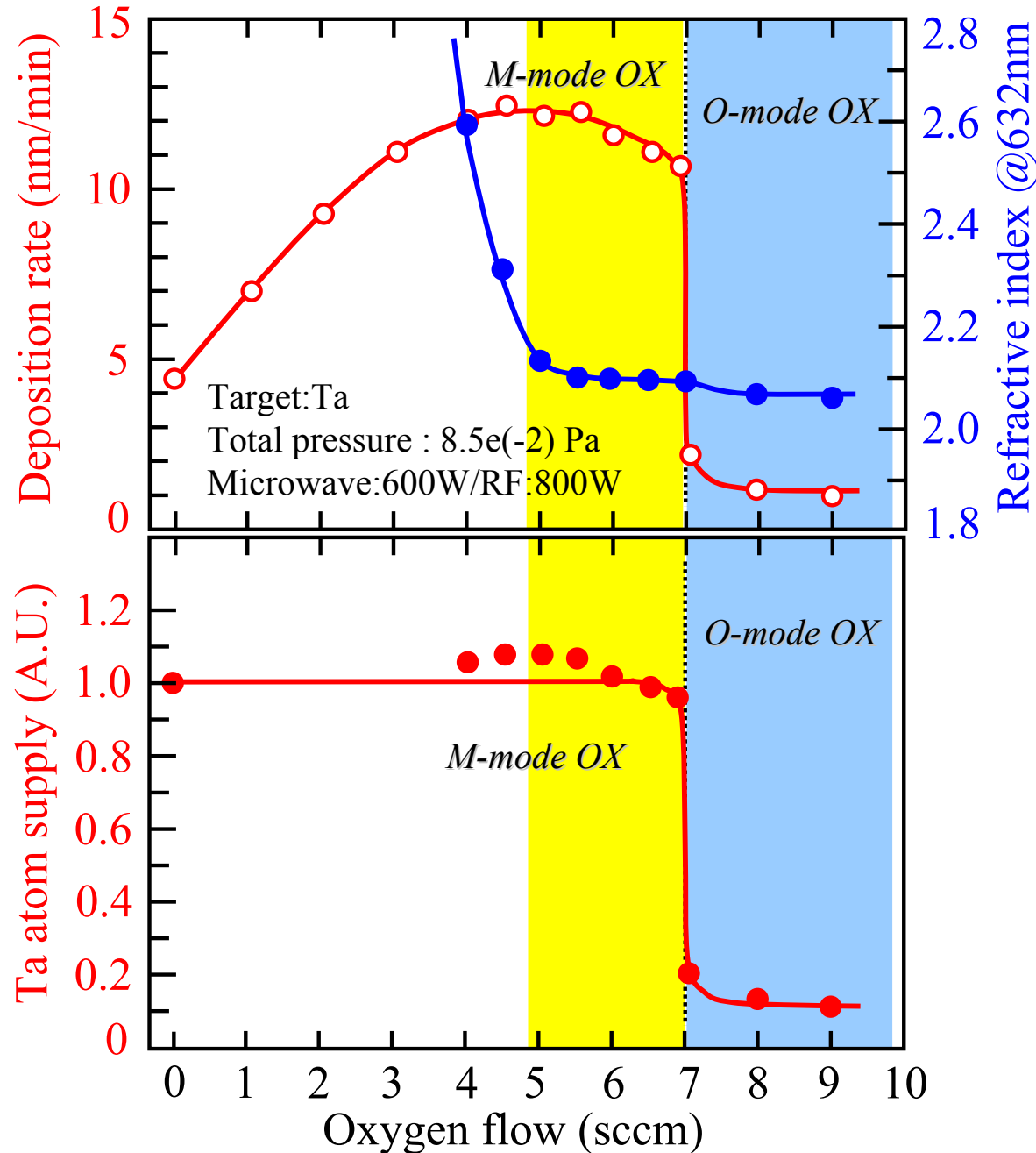
## 【イオン照射による膜形成反応支援】

- ★基板表面原子と低エネルギー照射イオンの弾性衝突  
 ==> 基板極表面の短時間パルス加熱 ( $\sim$ nsec,  $\sim$ nm)
- ★膜形成の熱平衡プロセス ( $\mu$  sec  $\sim$  msec) ==> 連続加熱  
 ECRプラズマ(低エネルギー、大電流)による疑似熱平衡反応支援



# 新技術の特徴 (4)

## 【膜形成反応におけるイオン照射効果】



*Ta atom supply*

$$S = V_d \cdot A \cdot \rho_m / M_m \quad \text{for Ta}$$

$$= 2V_d \cdot A \cdot \rho_o / M_o \quad \text{for Ta}_2\text{O}_5$$

∴  $V_d$  : deposition rate

$A$  : Avogadro number

$\rho$  : density

$M$  : atom (molecular)

weight

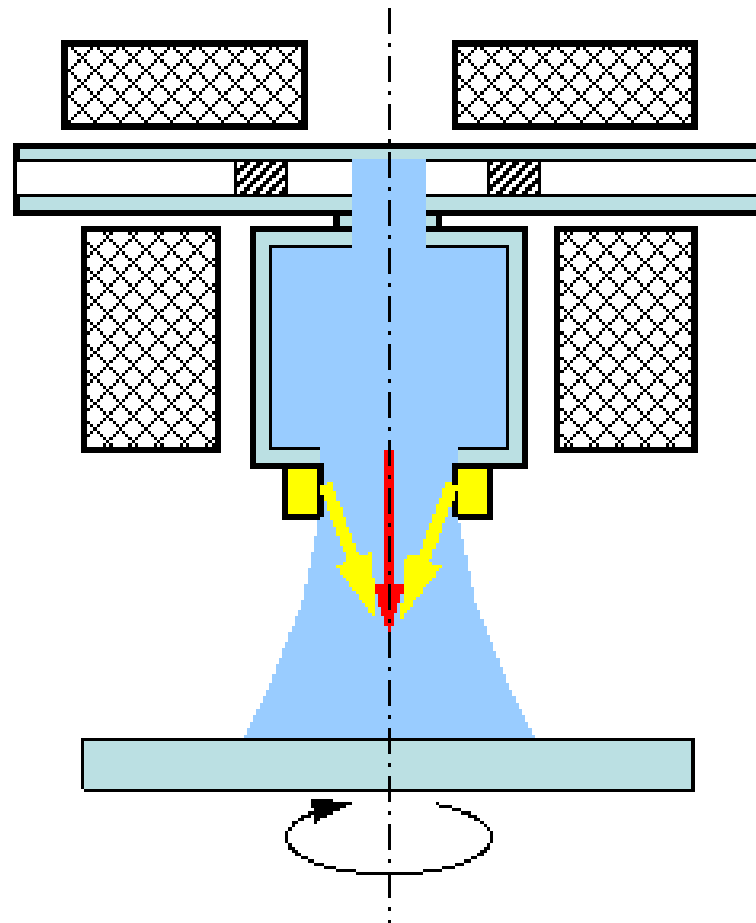
Suffix : **m** for metal

**o** for oxide

$$\begin{aligned} S_{\text{oxide}} / S_{\text{metal}} &= 0.4 V_{\text{oxide}} / V_{\text{metal}} \\ &= 0.1 \end{aligned}$$

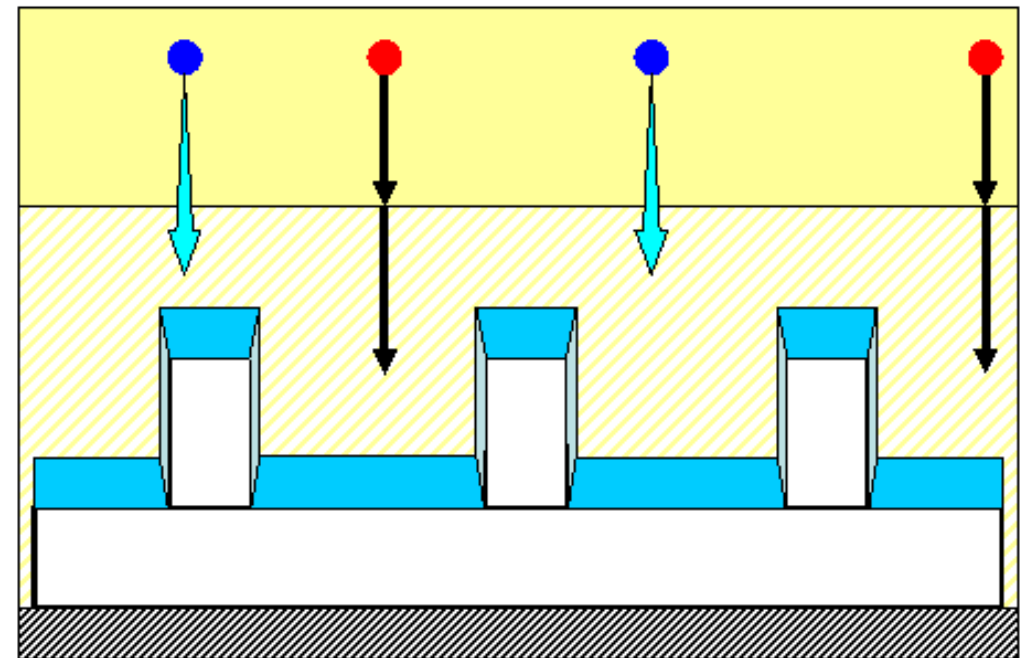
# 新技術の特徴(5)

## 【傾斜回転ECRスパッタ】



スパッタ粒子

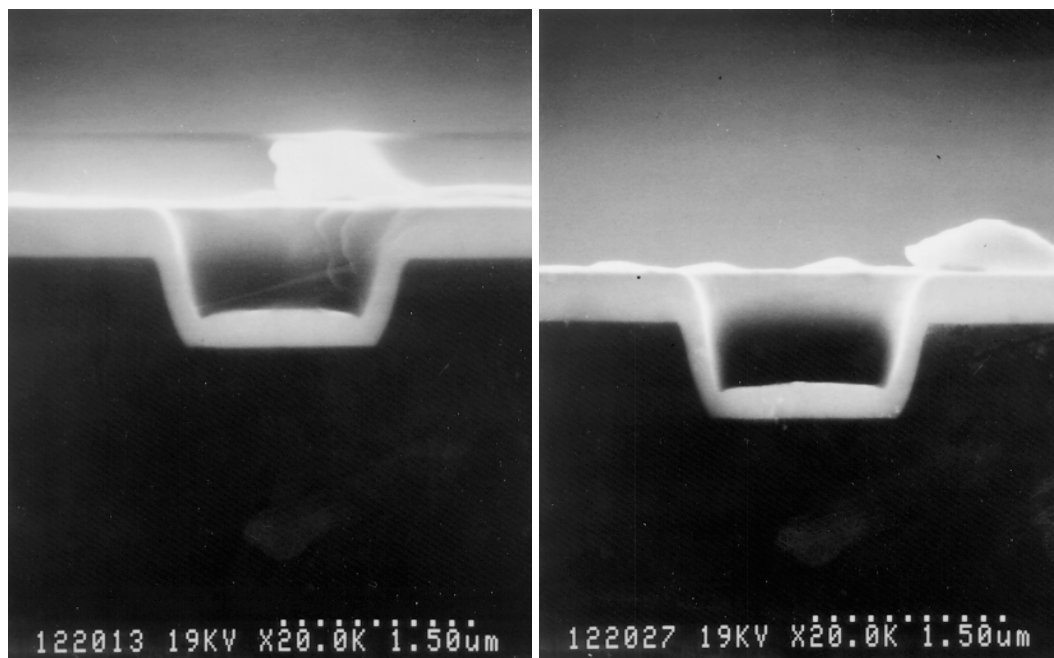
イオン流



- パターン段差側壁に成膜粒子・イオンの入射を促進
- 平坦部・側壁部ともに、低温で良質薄膜を実現

# 新技術の成果(1):段差被覆

## 【傾斜回転ECRスパッタの段差被覆】



[Center]

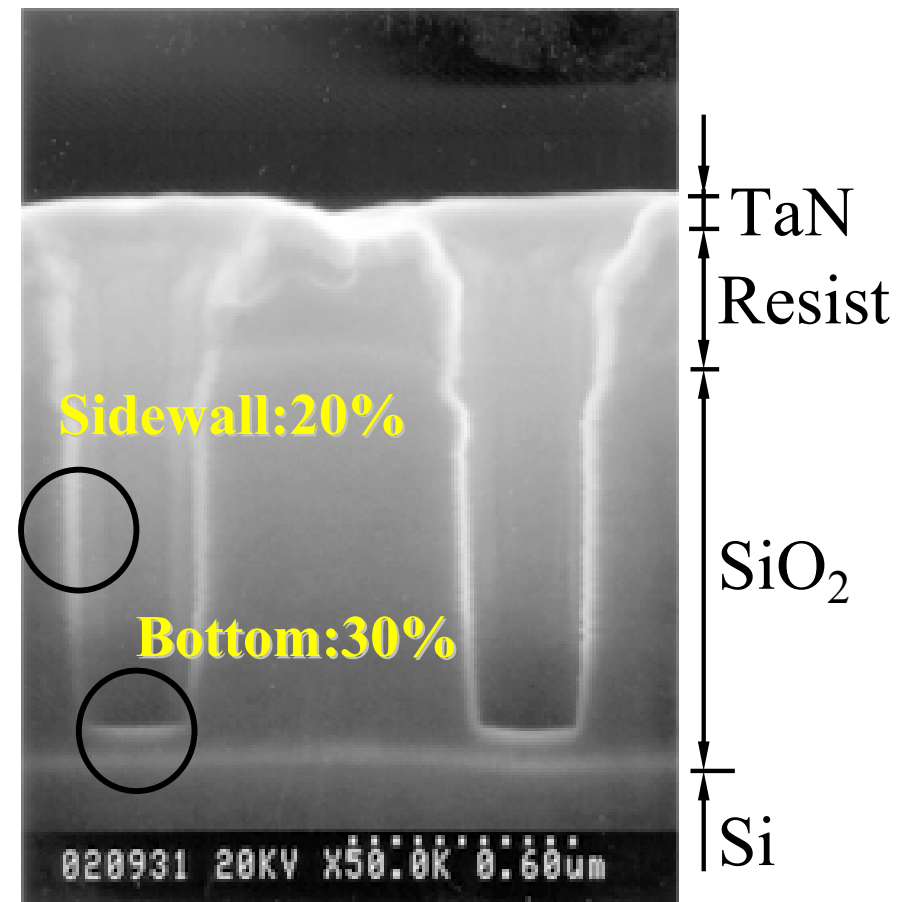
[R65]

Material : **Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>**

Target: Ta

Deposition: room temp.

Gas: Ar/O<sub>2</sub>



Material : **TaN**

Target: Ta

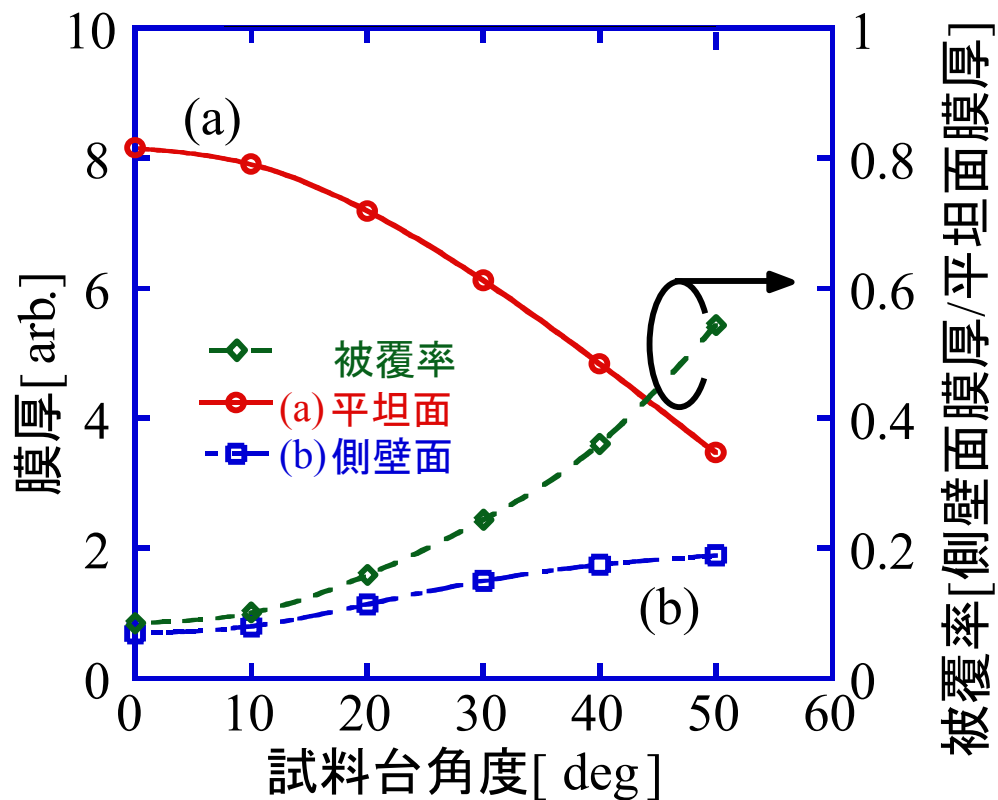
Deposition: room temp.

Gas: Ar

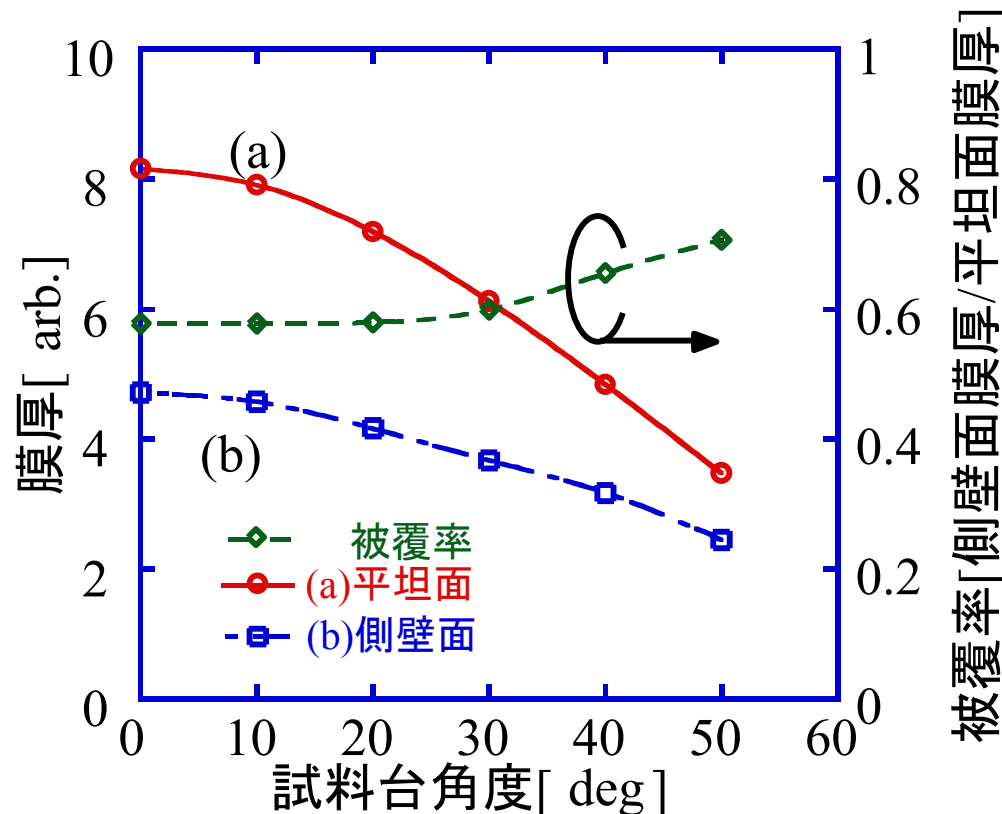
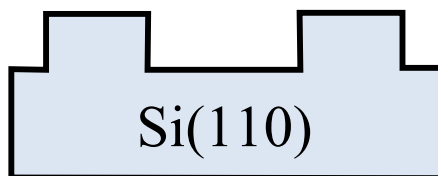


# 新技術の成果(1):段差被覆

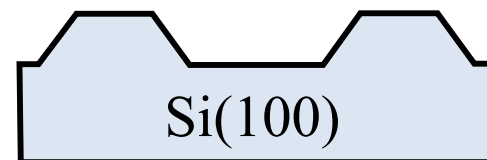
## 段差基板への膜厚シミュレーション



垂直段差基板



テーパ段差基板

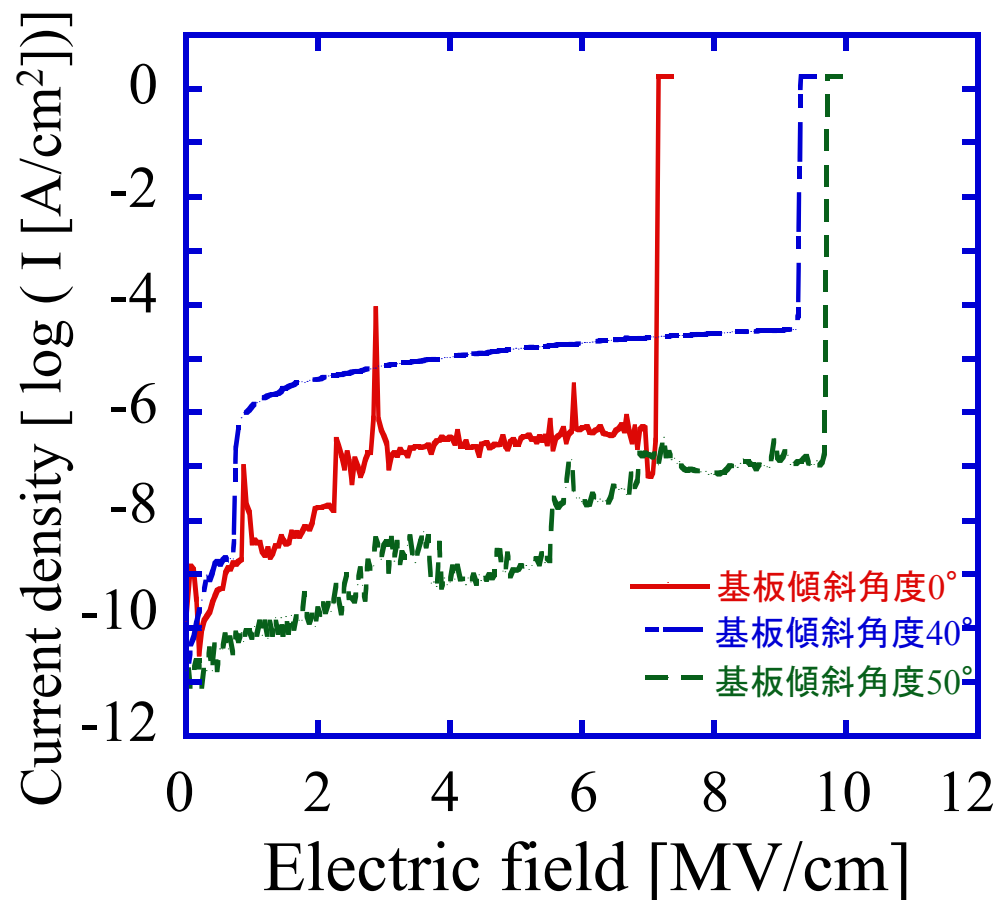
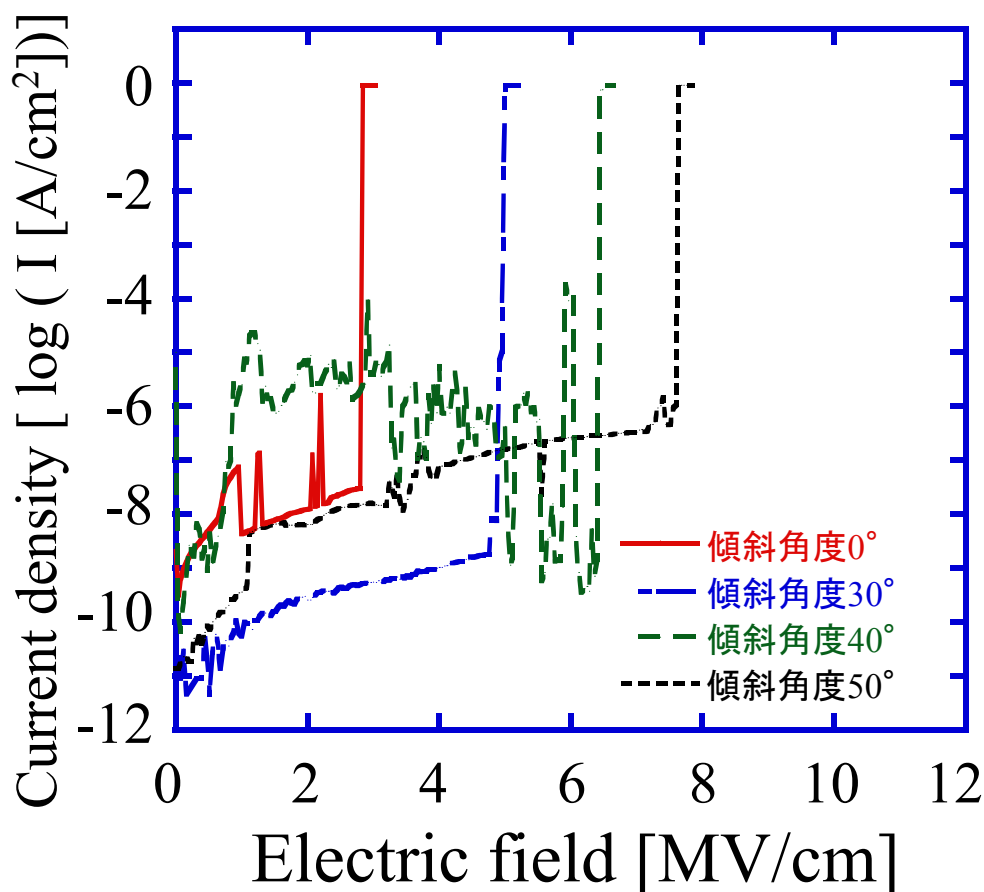


# 新技術の成果(1):段差被覆

## 【段差側壁部のECR-SiO<sub>2</sub>電気絶縁性】

垂直段差基板のI-V特性

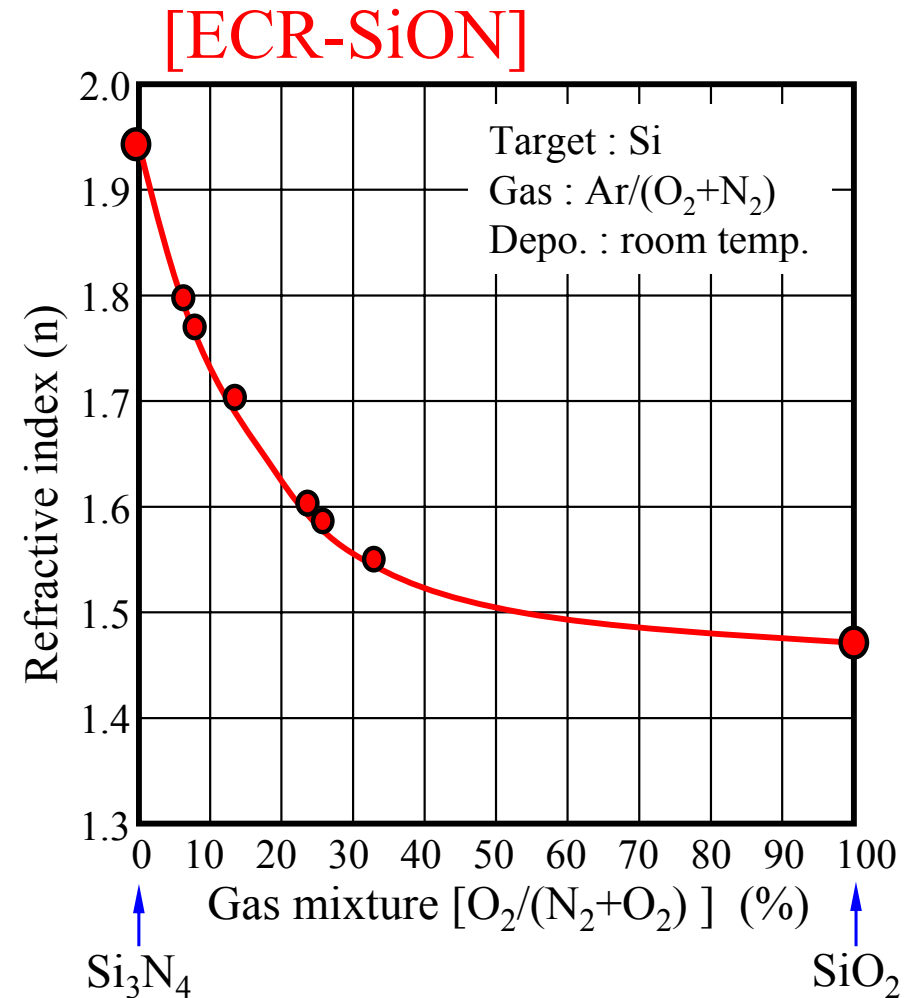
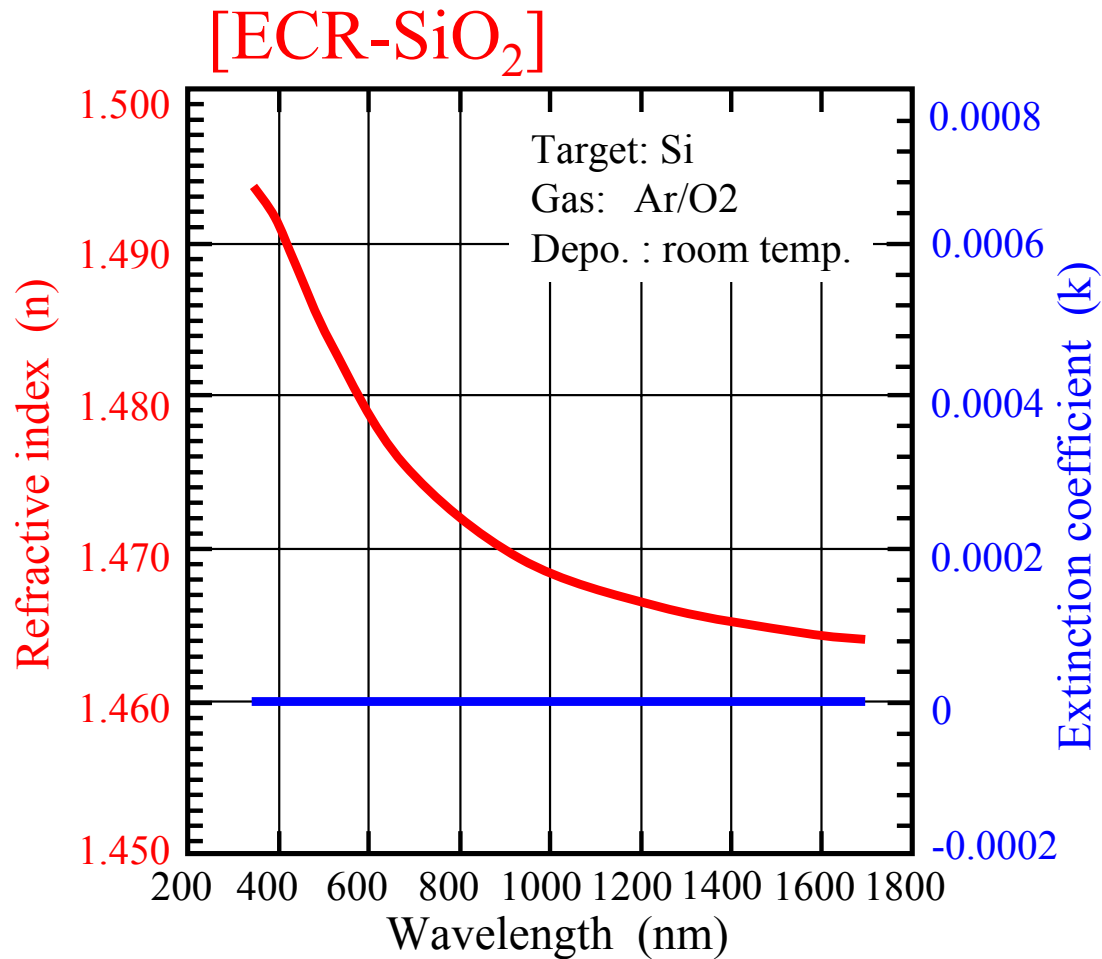
テーパ段差基板のI-V特性



MIM capacitor : Si/Ru/SiO<sub>2</sub>/Al, SiO<sub>2</sub> deposition : Room temperature

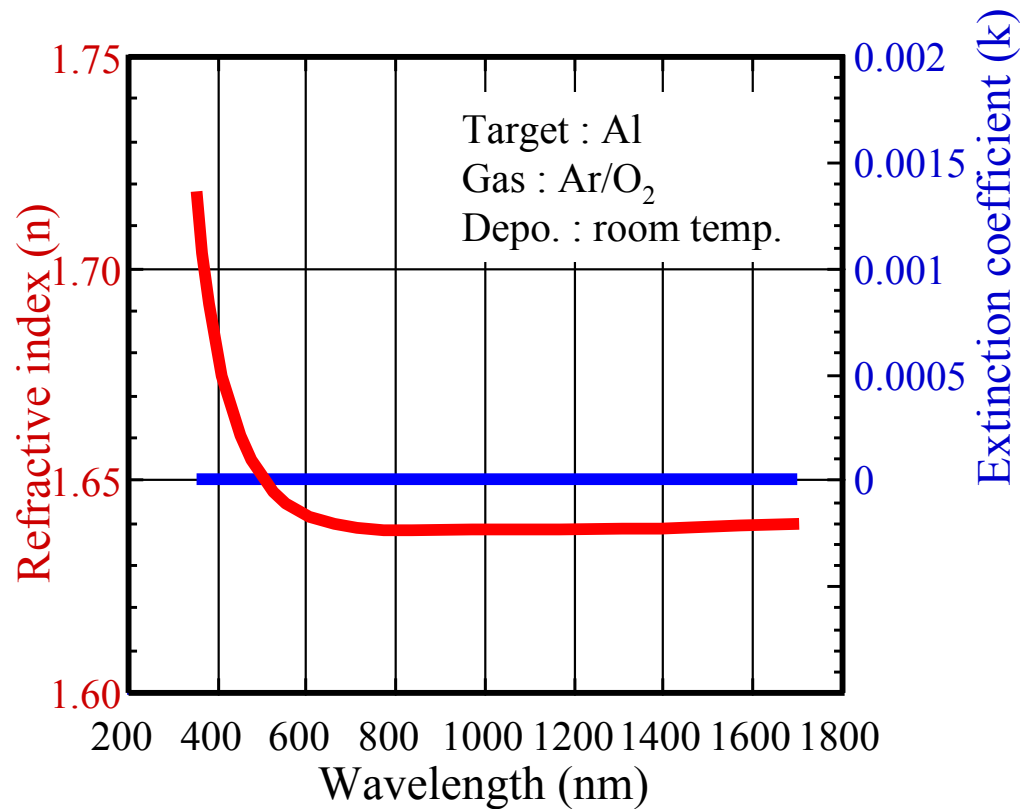
# 新技術の成果(2):光学薄膜

## 【Si系膜】

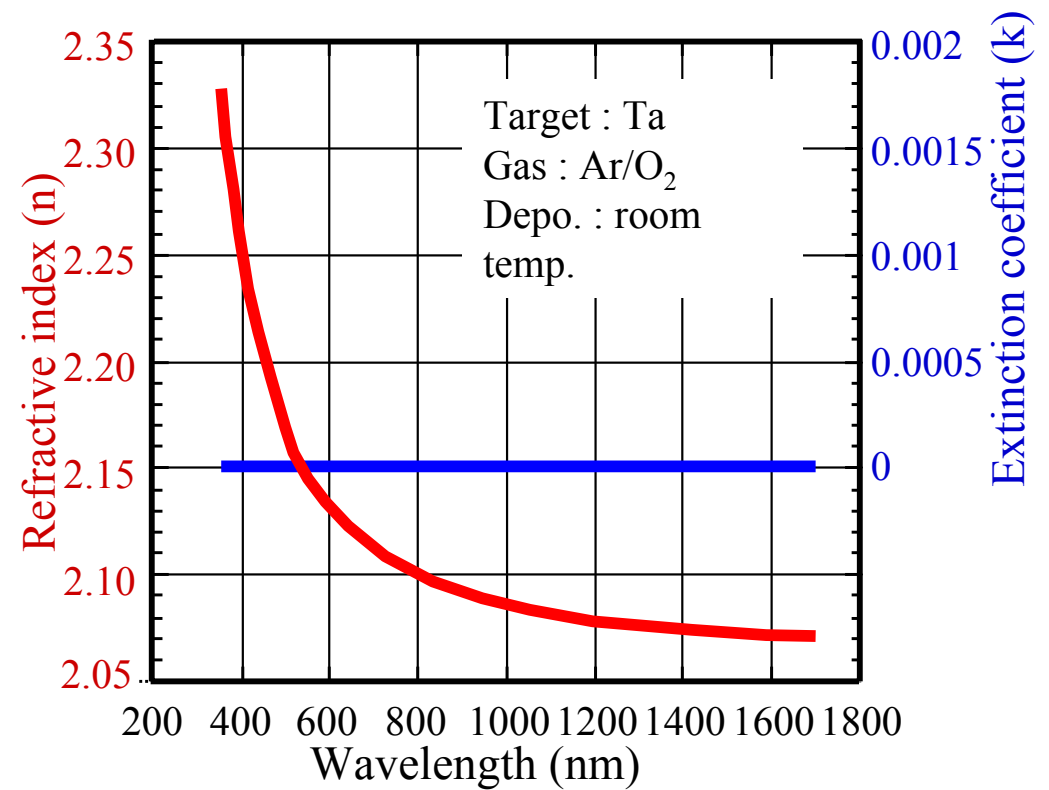


# 新技術の成果(2):光学薄膜

## [ECR- $\text{Al}_2\text{O}_3$ ]

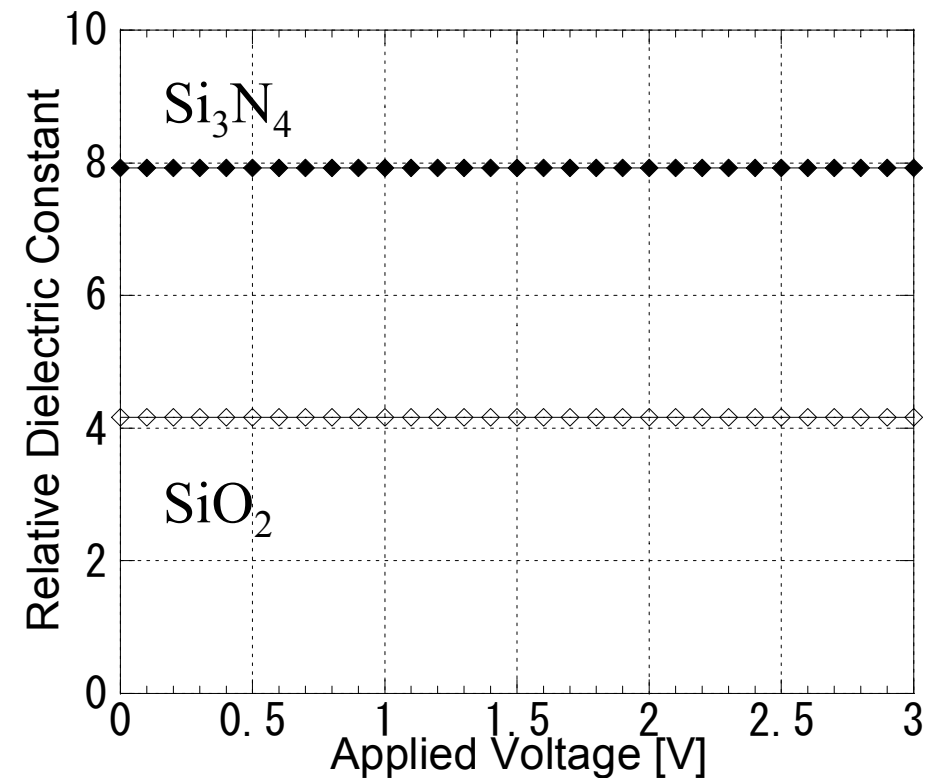
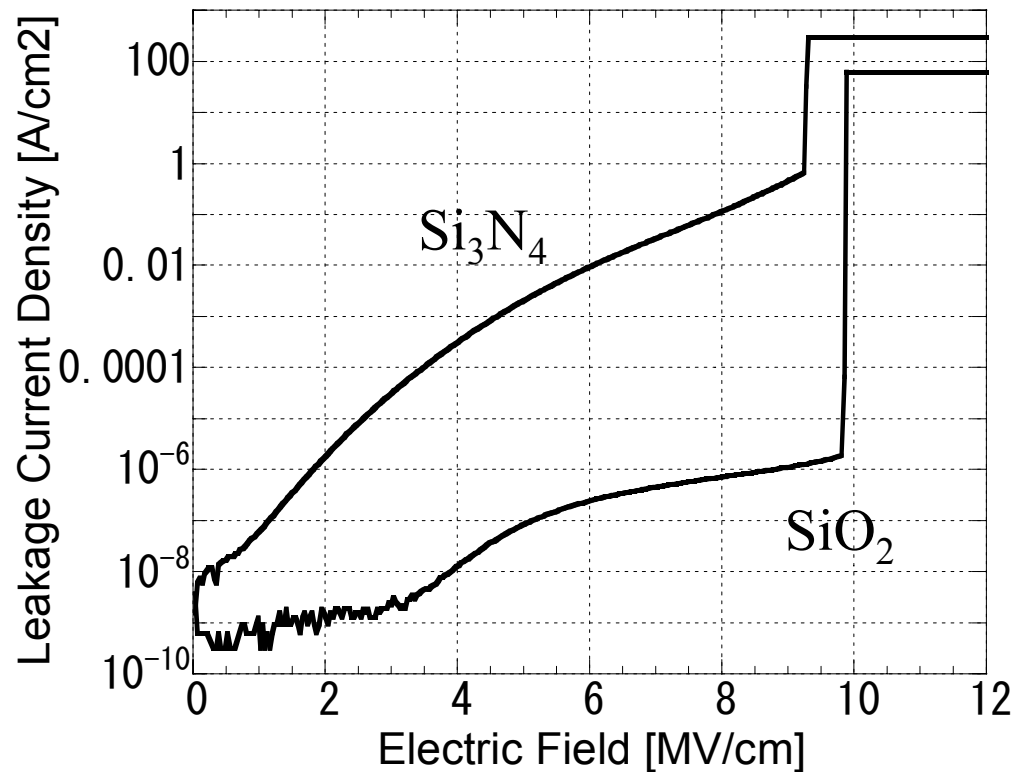


## [ECR- $\text{Ta}_2\text{O}_5$ ]



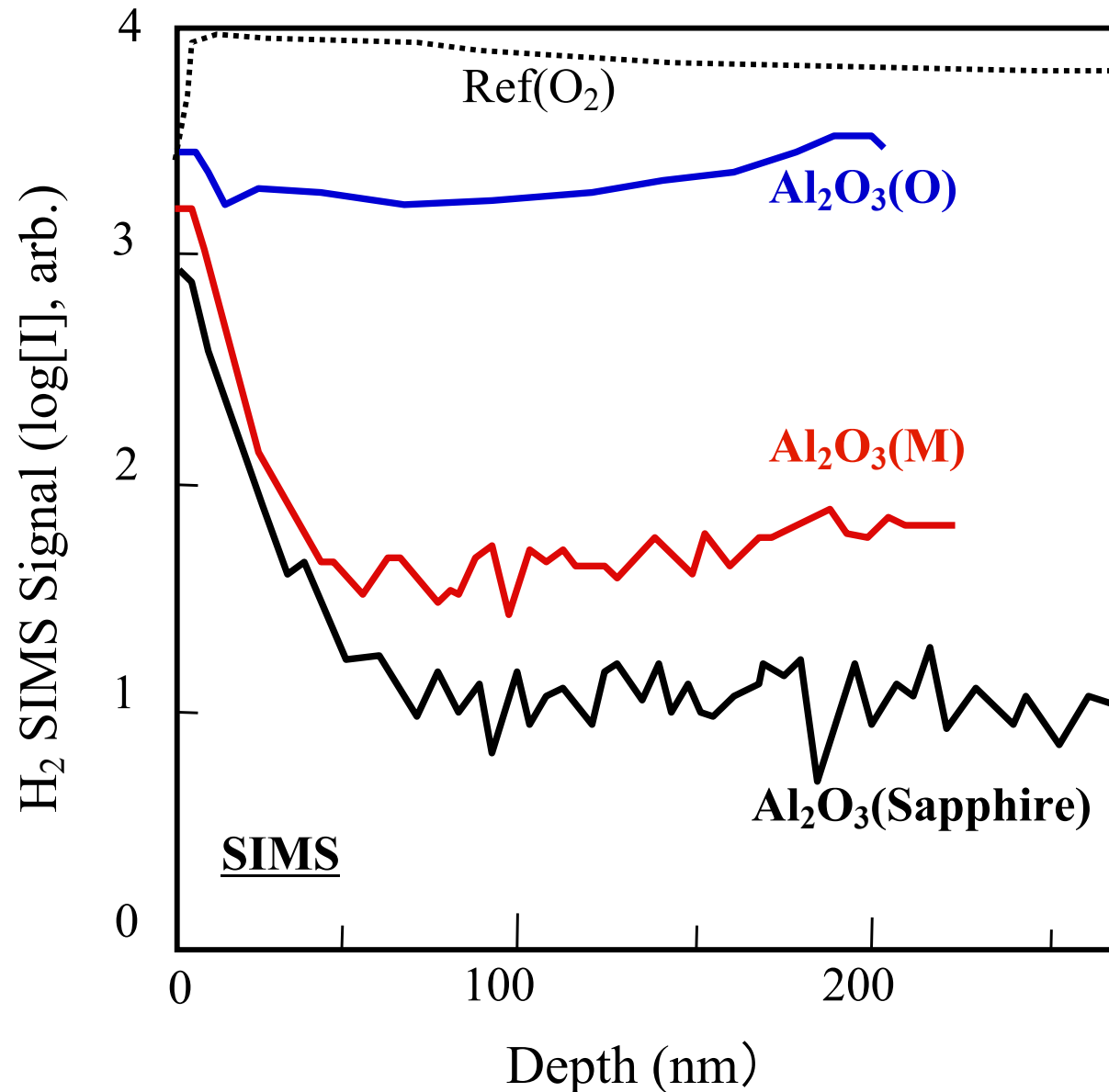
# 新技術の成果(3):誘電体薄膜

## [ECR-SiO<sub>2</sub>, ECR-Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>]



# 新技術の成果(4):Barrier薄膜

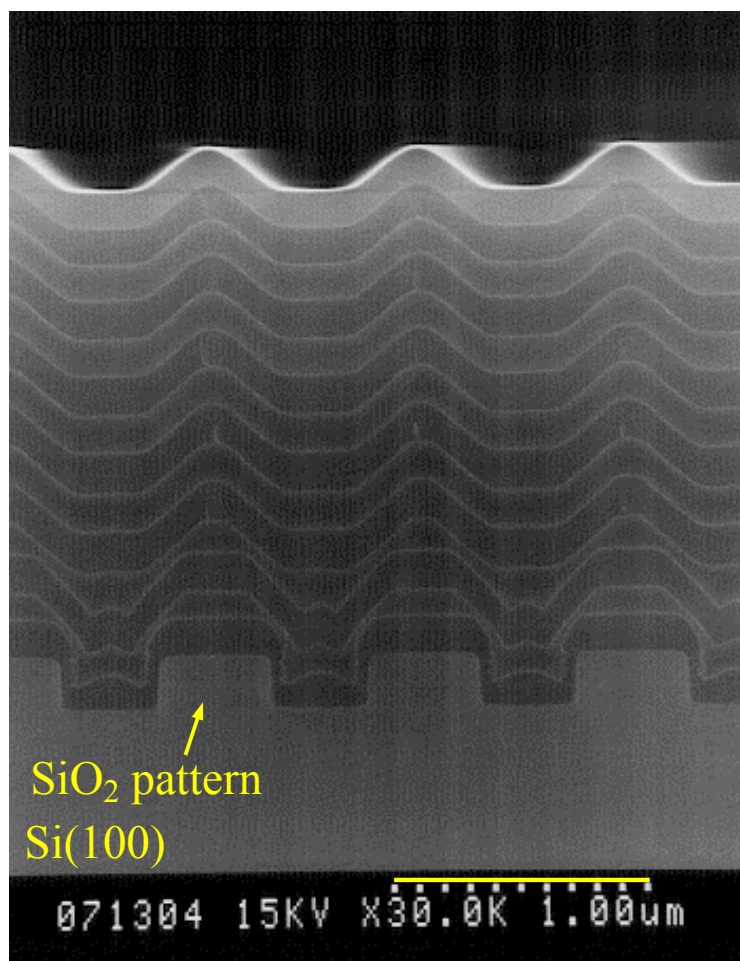
## 【ECR- $\text{Al}_2\text{O}_3$ の $\text{H}_2$ バリア特性】



$\text{Al}_2\text{O}_3(200\text{nm})/\text{Si}$   
Target: Al, Gas: Ar/ $\text{O}_2$   
Deposition: RT  
Heat-treat  
:  $400^\circ\text{C} \times 20\text{min}(\text{H}_2)$

# 新技術の成果(5):3次元構造化

## 【バイアスECRスパッタによる自己クローニング\*】



Substrate RF bias power

material	layer	RF bias
Si	all	0W
SiO <sub>2</sub>	2,4	25W
SiO <sub>2</sub>	6-14	7.5W

Target: Si

Gas: Ar(20sccm) for Si

Ar/O<sub>2</sub> (20/6sccm) for SiO<sub>2</sub>

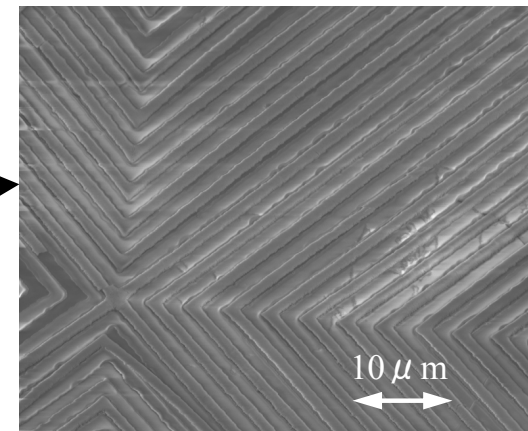
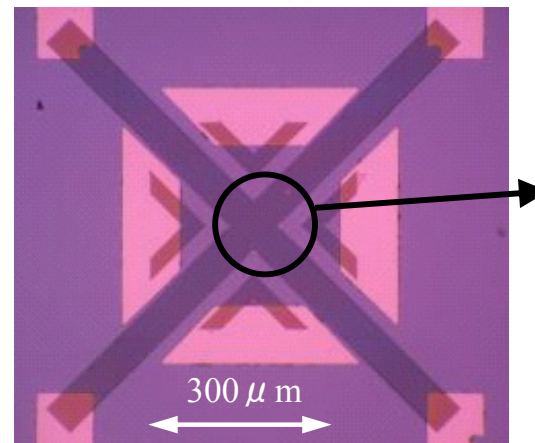
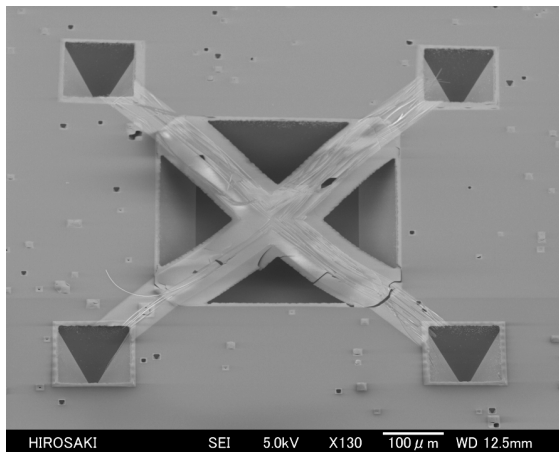
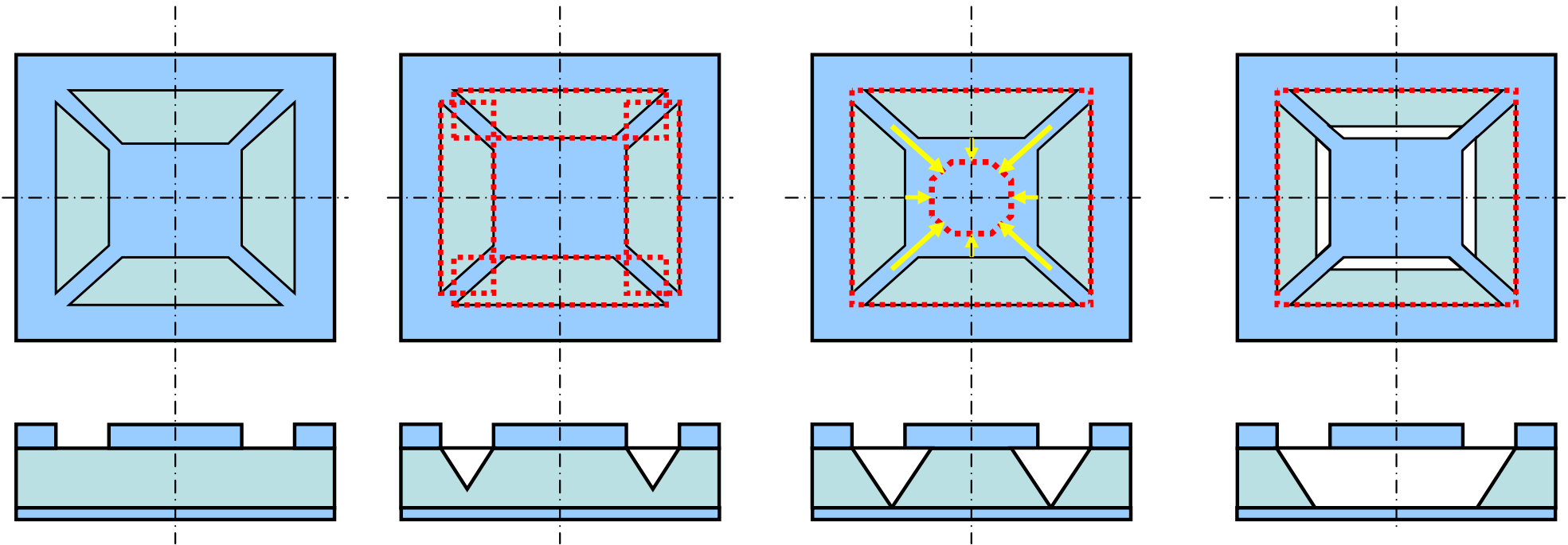
Microwaves: 400W, target RF: 500W

Substrate holder: 140mm in diameter

\* Self-cloning : S. Kawakami (Tohoku univ.), Shin-gaku-ron [C], J81C1, 573(1997)

# 新技術の成果(5):3次元構造化

## 【中空構造MEMSデバイス基本技術(1)】





# 新技術の成果(5):3次元構造化

## 【中空構造MEMSデバイス基本技術(2)】

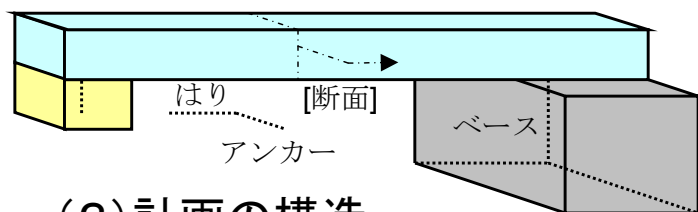
【発明の名称】「微小電気機械構造、その製造方法および微小電気機械素子」

【出願番号】 特願2006-51375(2006.2.27)

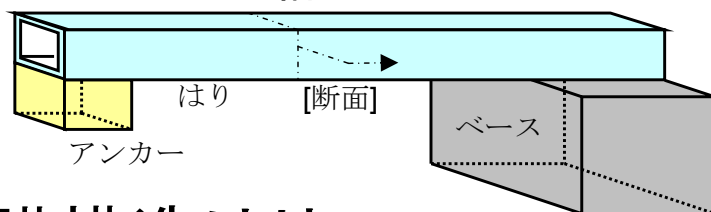
特開2007-229825(2007.9.13)

【発明者】 小野俊郎、豊田宏

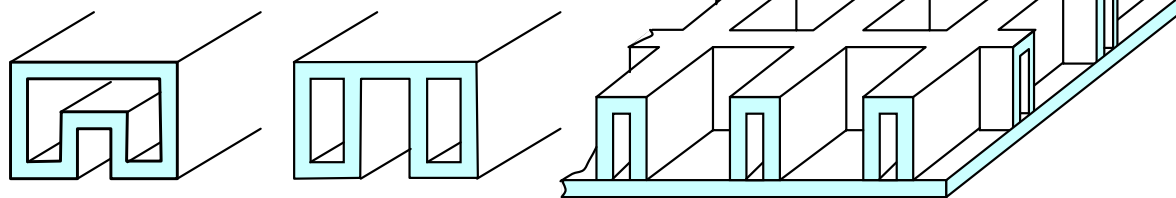
(1)従来構造



(2)計画の構造



### ナノ薄膜構造はり

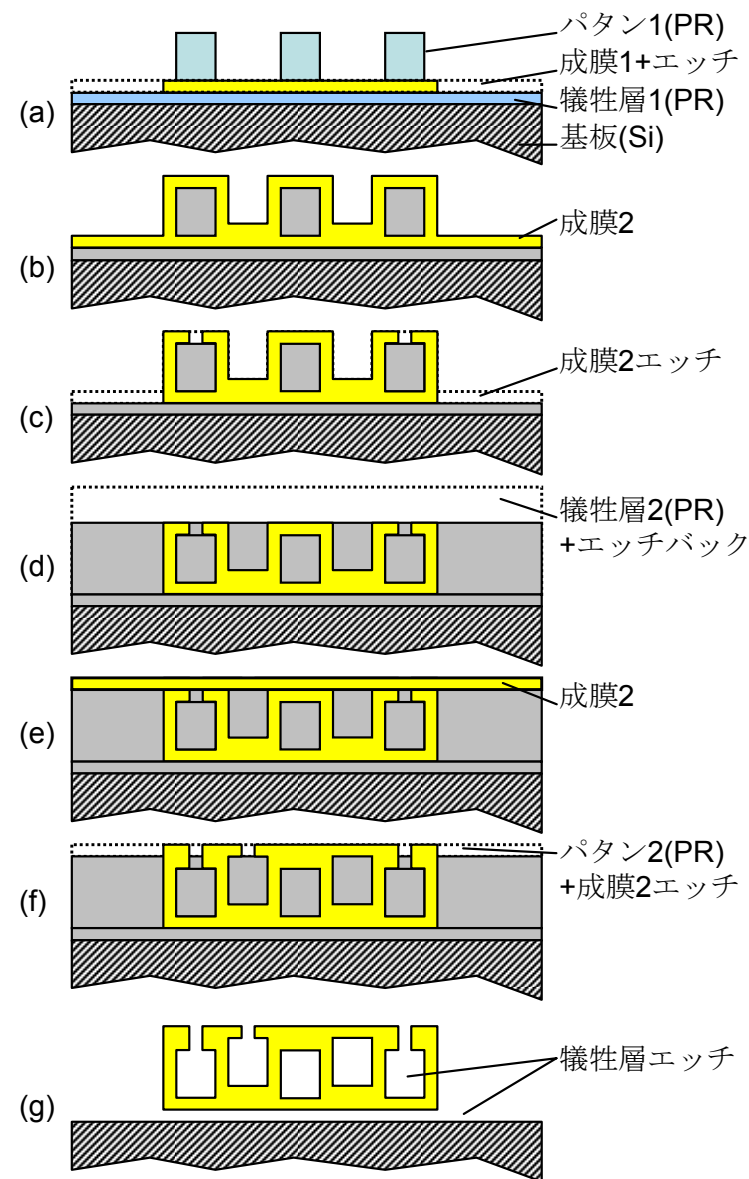


(1)はり構造A

(2)はり構造B

(3)ハニカム構造ダイヤフラム

### 中空構造の展開例



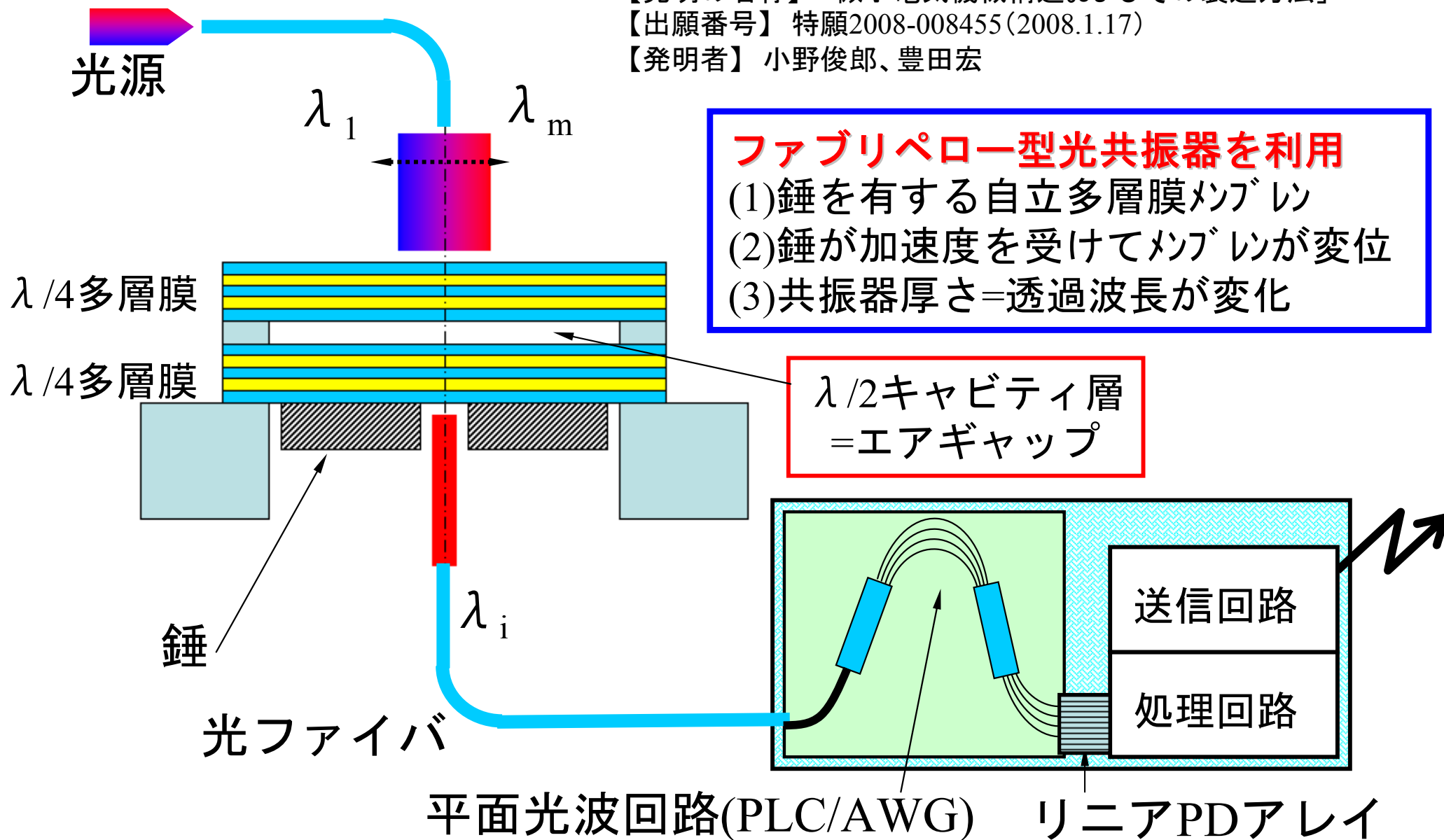
# 新技術の成果(5):3次元構造化

## 【光共振器変位計測型加速度センサ】

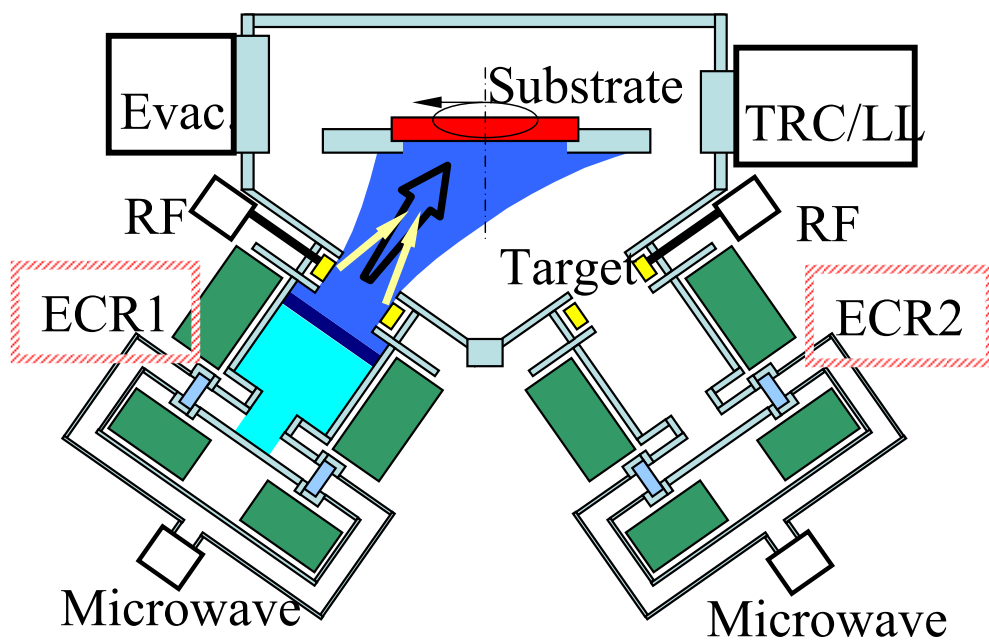
【発明の名称】「微小電気機械構造およびその製造方法」

【出願番号】 特願2008-008455(2008.1.17)

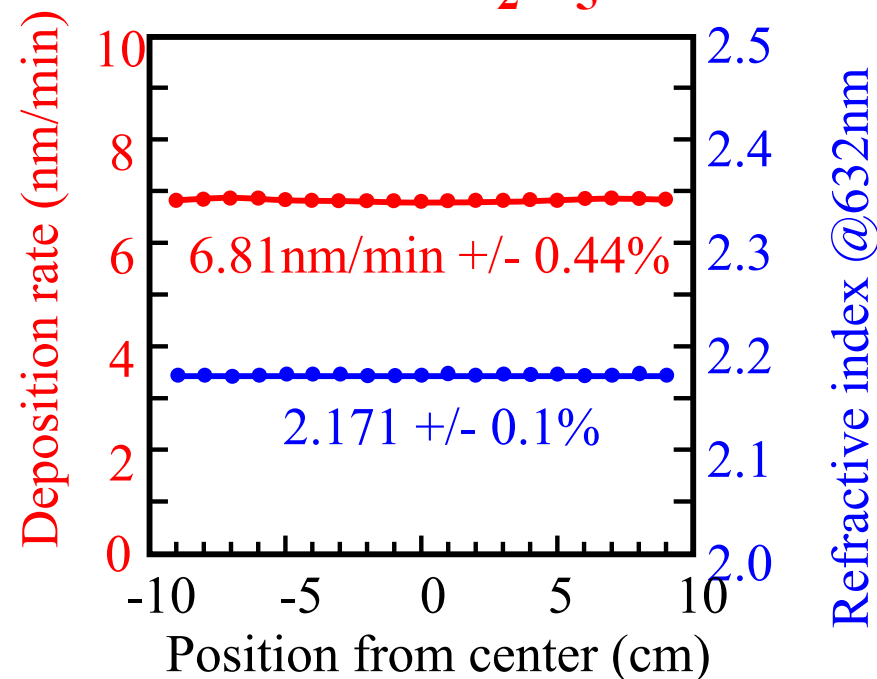
【発明者】 小野俊郎、豊田宏



# 新技術の応用と展開(1)



## ECR-Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>



Target : Ta  
Gas : Ar/O<sub>2</sub>  
Depo. : room temp.

MESアフティ(株)の好意による

# 新技術の応用と展開(2)

## 【応用用途】

- ★低温で高品質の薄膜が必要
- ★高絶縁・高誘電体薄膜、低損失光学薄膜
- ★3次元構造化(電気・機械特性)

## 【実用化展開】

- ★基礎研究から応用研究
  - 弘前大学に基礎技術資産
  - 実用装置が提供されている
- ★共同研究によるサンプル提供と共同評価

# 本技術に関する知的財産権

【発明の名称】 「微小電気機械構造、その製造方法  
および微小電気機械素子」

【出願番号】 特願2006-51375 (2006.2.27)  
特開2007-229825 (2007.9.13)

【出願人】 国立大学法人 弘前大学

【発明者】 小野俊郎、豊田宏

【発明の名称】 「微小電気機械構造およびその製造方法」

【出願番号】 特願2008-008455 (2008.1.17)  
特開

【出願人】 国立大学法人 弘前大学

【発明者】 小野俊郎、豊田宏

# お問い合わせ先

弘前大学地域共同研究センター

産官学連携コーディネーター

野呂 治 (のろ おさむ)

TEL: 0172-39-3179

e-mail : [nology@cc.hirosaki-u.ac.jp](mailto:nology@cc.hirosaki-u.ac.jp)