

# どうかわるプラズマエッチング？

## これまでの30年 これからの30年

(株)日立ハイテク

伊澤 勝

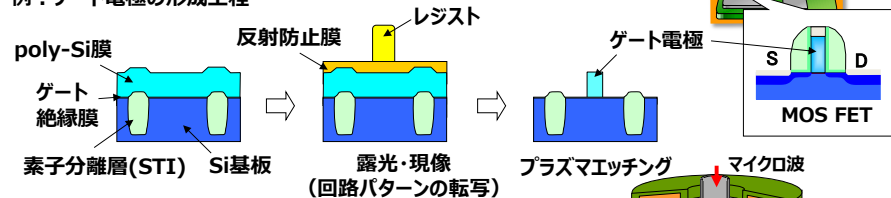


**HITACHI**  
Inspire the Next

### 2. プラズマエッチングとは

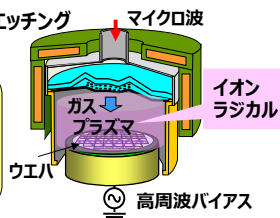
■ 成膜、露光、エッチングの繰り返しによりLSIを製造

例：ゲート電極の形成工程



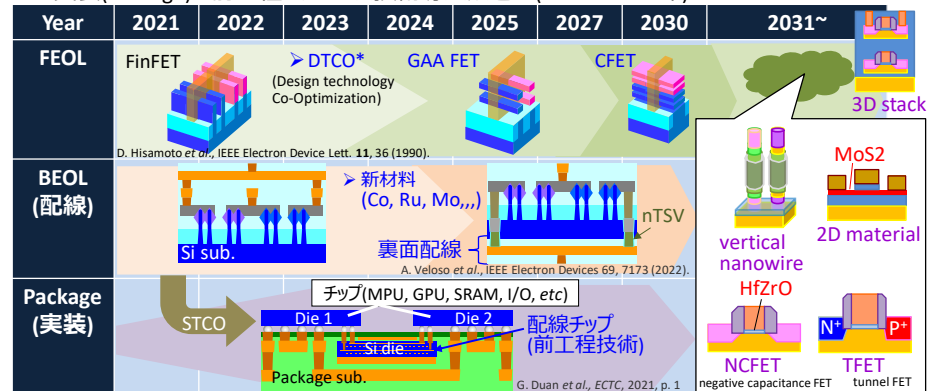
プラズマエッチングの特徴：パターン転写性、安定性に優れる

垂直加工技術が発明\*)され、現在では必須プロセスに  
\*) N. Hosokawa et al., JJAP Suppl. 2-1, 435 (1974).



### 6. ロジックデバイス技術の動向

- 次世代ではGAA\* FETと裏面配線技術が導入される見込み(GAAは一部製品化)。
- 実装(Package)へ前工程のプロセス技術導入が進む (STCO\*\*の一環)。



# 18. プラズマエッチングの歴史

- 生産性向上や効率化に向けた装置センサーデータの解析や装置制御は2000年半ばより活発化。
- 低GWPガスの開発は2000年初頭より検討され、デジタルアンプなど低消費電力化技術が出てきた。
- nm精度実現に向け、エッチングの制御ノブは拡大。デバイス3D化に対応した等方的ALEが重要に。

ノード (μm, nm)	~'70	'75	'80	'85	'90	'95	'00	'05	'10	'15	'20	'25	'30	'35
	10	5	3-2	1-0.8	0.5-0.1	90-65	45-32	22-10	7-3					20A以降
ウエハ (mm)	50	75	100	150	200	300								

主な課題: High speed / Vertical → Uniformity → Selectivity, Profile → + Lateral etch

技術: Vertical, Microwave ECR, Pulsed EES, Wafer RF bias, Down flow, Gas chopping, ALE, RIE, High density/low pressure, Medium density/uniform control knob, Discharge, Wafer RF bias, TM (Pulsed) bias/2周波印加, Electrode (steering), Gas relationship, Plasma, Cyclic ALE, AEC/VM, Fab-wide APC, In-situ ALD, Green (Gx), Digital amp, Multi-level pulse/ion/radical control, Digital amp, Multi-zone, PFAS removal, Low GWP gas, ALE function, Uniformity

エッチング装置への搭載: 放電 RIE, ウエハRFバイアス, 電極(steering), ガス関係, マルチレベルパルスイオン/ラジカル制御, デジタルアンプ, 脱PFAS, 低GWPガス, 等方的ALE

EES: Equipment Engineering System(装置状態モニタ), AEC: Advanced Equipment Control, VM: Virtual Metrology  
APC: Advanced Process control, PFAS: Per and Polyfluoroalkyl Substances(有機フッ素化合物, 例: フロリナー)

# 19. エッチング装置の進化

- 微細化に伴う加工性能向上に向けパルス機能(ALE)や温度分布制御機能を搭載
- 新構造、新材料対応に加えグリーン化、デジタル化技術の導入が進む

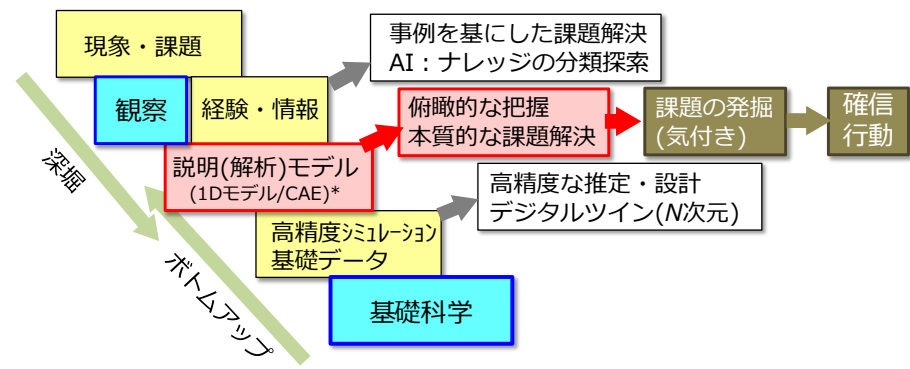
Gas\*: CF<sub>3</sub>Cl, CF<sub>3</sub>Br, CCl<sub>4</sub>, CF<sub>4</sub>, Cl<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>  
Gas: CF<sub>4</sub>, CHF<sub>3</sub>, NF<sub>3</sub>, SF<sub>6</sub>, Cl<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, BCl<sub>3</sub>, HBr, SiCl<sub>4</sub>, COS  
Gas: F<sub>2</sub>?, COF<sub>2</sub>\*\*?, Cl<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, BCl<sub>3</sub>, HBr, SiCl<sub>4</sub>, COS

150-200mm 装置 (1985~) 300mm 装置 (2022)

\*) J.W. Coburn, Table 3, 4 in "Plasma etching and Reactive Ion Etching," AVS (1982).  
\*\*) <https://www.nedo.go.jp/hyoukaku/articles/200901kanden/index.html>

# 28. 課題解決：本質の理解と実行

- 説明モデル：現象の本質を捉えた見通しのいい表現（俯瞰的かつ局所的）



\*) <https://monoist.itmedia.co.jp/mn/articles/2112/21/news006.html>  
物事の本質を的確に捉え、見通しの良い形式でシンプルに表現

# 30. 計測とシミュレーションの協調による理解の促進

- プラズマ分布計測とシミュレーションによりM-ECRの均一性制御メカニズムを解明

測定困難なものを可視化

input output

磁場中の両極性拡散

$$K_{\alpha} = \begin{bmatrix} \gamma^2 D_{\alpha} + \beta^2 D_{\alpha} & \beta \gamma (D_{\alpha} - D_{\beta}) \\ \beta \gamma (D_{\alpha} - D_{\beta}) & \beta^2 D_{\alpha} + \gamma^2 D_{\beta} \end{bmatrix}$$

$$\beta = \mu_{\alpha} / |\mathbf{B}|$$

$$\gamma = B_{\alpha} / |\mathbf{B}|$$

$$D_{\alpha} = (\mu_{\alpha} D_{\alpha} + \mu_{\alpha} D_{\beta}) / (\mu_{\alpha} + \mu_{\beta})$$

$$D_{\beta} = D_{\beta} / (1 + \mu_{\alpha}^2 / |\mathbf{B}|^2)$$

H. Tamura, et al, Proc. 33rd Int. Symp. Dry Process, p. 57 (2011).

生成領域の制御によりICF均一性調整が可能  
シミュレーションの精度向上により新たなアイデアを創出