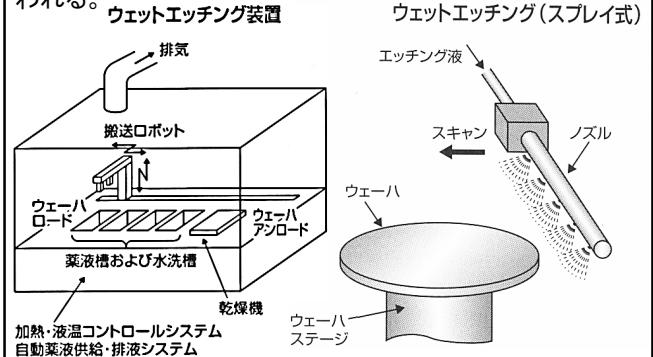


ウェットエッティング: ディップ(バッチ)式とスプレー(枚葉)式がある。スプレー式の方がエッチ速度と均一性が高いため良く使われる。最近ではウェハーの全面エッティング等に使われる。



ウェットエッティング装置:



ウェットエッティング液1:

材料	エッティング液	エッチ速度 (nm/min)
SiO ₂	28 ml HF 170 ml HF 113 g NH ₄ F	バッファー HF 液 100
	15 ml HF 10 ml CH ₃ COOH 300 ml H ₂ O	P-エッチ 12
Si ₃ N ₄	バッファー HF H ₃ PO ₄	0.5
Al	4 ml HNO ₃ 3.5 ml CH ₃ COOH 73 ml H ₃ PO ₄ 19.5 ml H ₂ O	10
Au	4 g KI	30
		1000

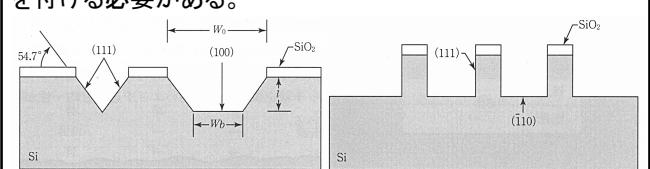
ウェットエッティング液2:

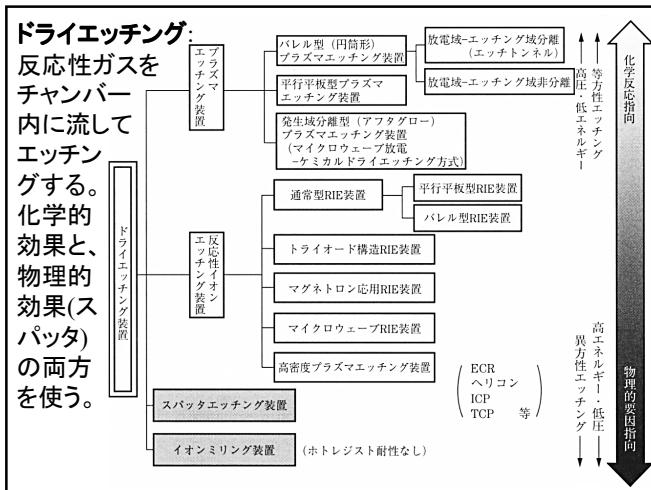
Mo	1 g I ₂	500
	40 ml H ₂ O	
	5 ml H ₃ PO ₄	
	2 ml HNO ₃	
	4 ml CH ₃ COOH	
Pt	150 ml H ₂ O	50
	1 ml HNO ₃	
	7 ml HCl	
W	8 ml H ₂ O	160
	34 g KH ₂ PO ₄	
	13.4 g KOH	
	33 g K ₃ Fe(CN) ₆	
	H ₂ O を加えて 1 l	

Siのウェットエッティング: Siは硝酸、フッ酸、酢酸または水の混合液でエッティングする。

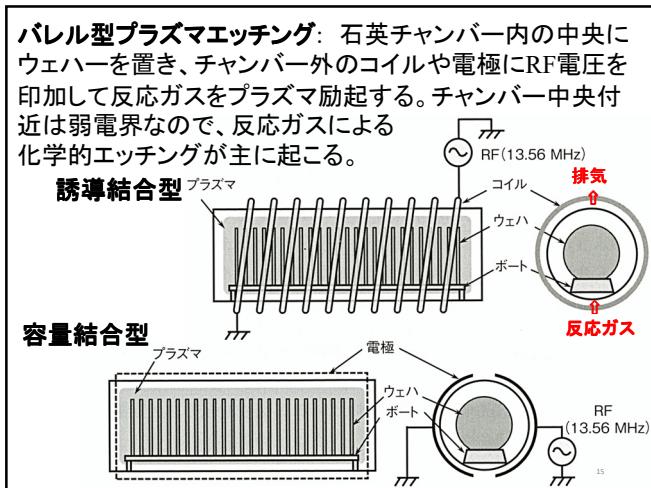
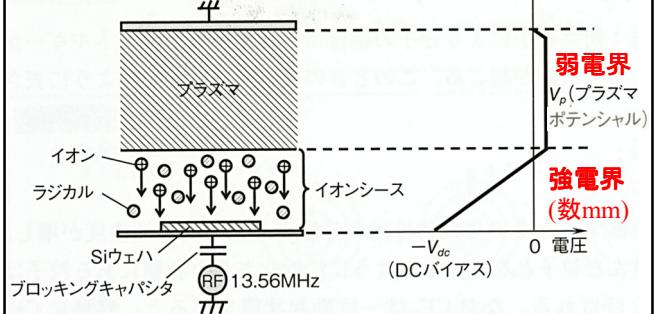
硝酸がSiを酸化して($\text{Si} + 4\text{HNO}_3 \Rightarrow \text{SiO}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 4\text{NO}_2$)、フッ酸がSiO₂を溶かす($\text{SiO}_2 + 6\text{HF} \Rightarrow \text{H}_2\text{SiF}_6 + 2\text{H}_2\text{O}$)。または、KOHとイソプロピルアルコール(C₃H₈O)と水の混合液でエッティングする。この場合は、**結晶面方位でエッティング速度が異なる**ので、MEMS等の微細加工で用いられる。

また、SiのエッティングではSiO₂も同時にエッティングされるので、SiO₂をマスクとして使う場合はあらかじめ厚いSiO₂膜を付ける必要がある。

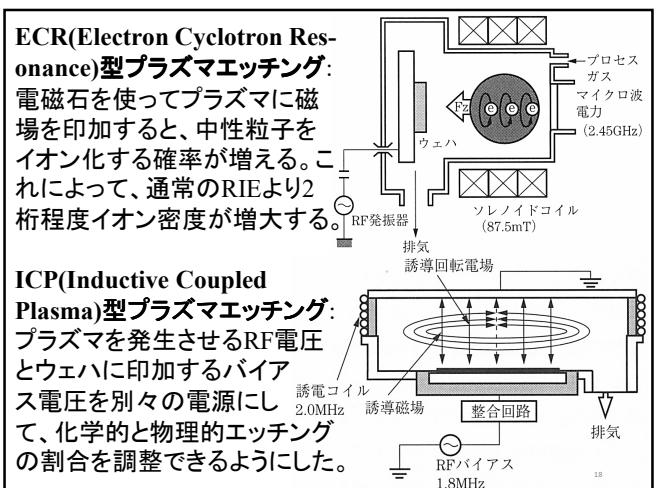
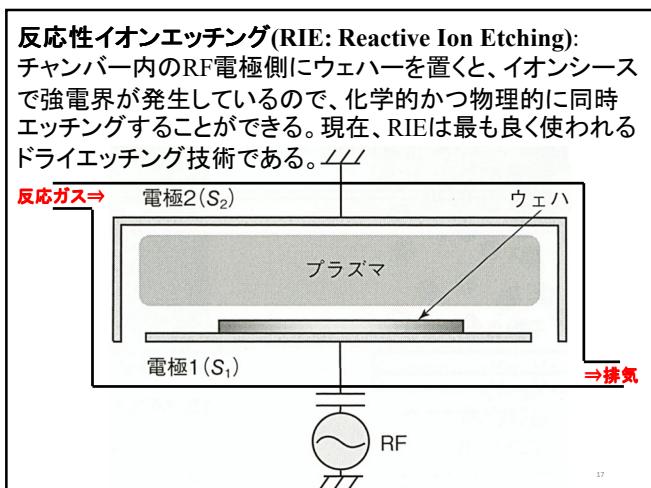
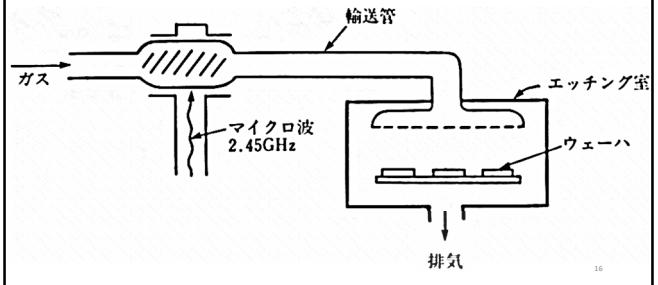




ドライエッチング中の電位: 電極間にRF電圧を印加して、反応性ガスをプラズマ励起すると、軽い電子が電極に溜まり負に帯電する。特にRF電極側はブロッキングキャバシタがあるため数十～数百Vの電位となり、電極付近にほとんど電子が存在しない数mmのイオンシースが形成される。

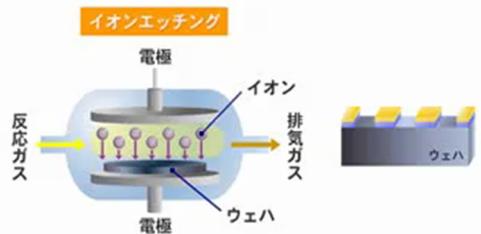


発生域分離型プラズマエッチング(ケミカル・ドライエッチング): 反応ガスをプラズマ励起する部屋と、エッチング室を輸送管を介して数十cm程離す。ウェハーには電界が全く掛からないので、ほとんど化学的効果だけの等方性ドライエッチングになる。材料選択性が高い反応ガスを使った多結晶シリコンのエッチング等に使われる。



ドライエッチングの説明:

ドライエッチング



特徴

加工精度の良いエッチングができる



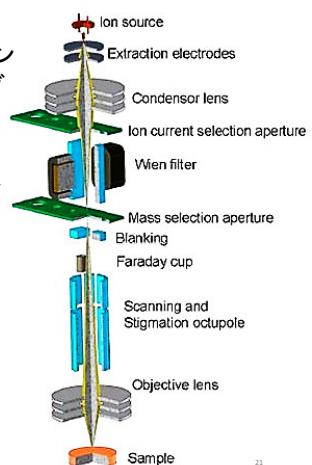
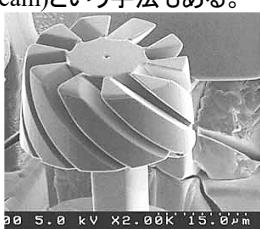
ウエハエッチングについて
教えて下さい。

ドライエッチング装置:



20

イオンミリング: 反応ガスの代わりにArやGa等の原子でイオンスパッタして、物理的エッチングを行う。材料選択性は無い。イオンビームを磁界レンズで細く絞って3次元微細加工をする収束イオンビーム(FIB: Focused Ion Beam)という手法もある。



21

FIB装置:



22

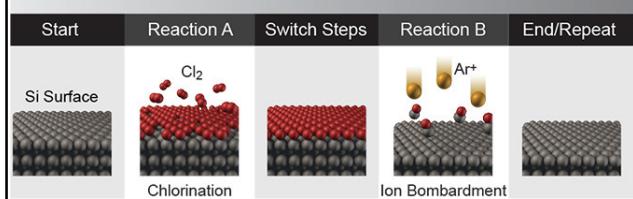
FIB装置での加工例: 電子顕微鏡用試料



23

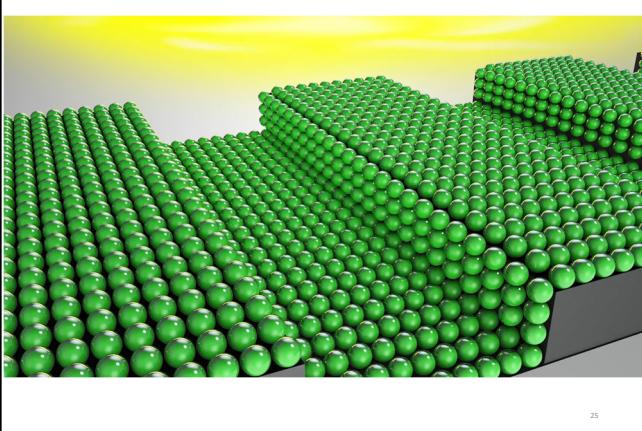
Atomic Layer Etching (ALE):

薄膜表面に反応ガス(プリカーサ)を吸着させた後で、イオン照射により反応ガス(+薄膜物質)を除去する。反応ガス吸着は1原子層分で自動的に停止し、反応ガス除去も表面の反応ガスが無くなった時点で自動的に停止するので、1サイクルでちょうど1原子層分だけエッチングされる。これを繰り返すことで、原子層単位でエッチングが進行する。



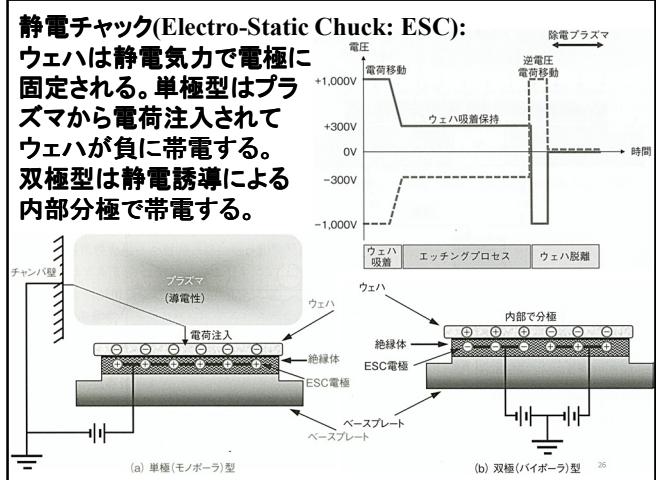
24

ALE:

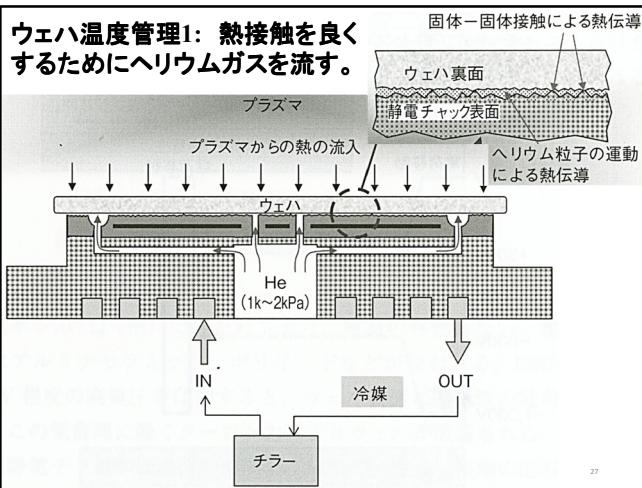


静電チャック(Electro-Static Chuck: ESC):

ウェハは静電気力で電極に固定される。単極型はプラズマから電荷注入されてウェハが負に帯電する。双極型は静電誘導による内部分極で帯電する。

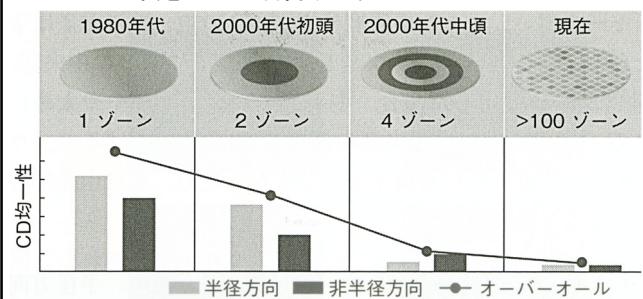


ウェハ温度管理1: 熱接触を良くするためにヘリウムガスを流す。



ウェハ温度管理2:

エッティング仕上がり寸法(Critical Dimension: CD)に大きく影響するウェハ面内の温度均一性を高めるために100ゾーン以上の温度を独立に制御する。



反応ガス: SF₆はSiに、CHF₃は酸・窒化膜に選択性がある。エッティング材料

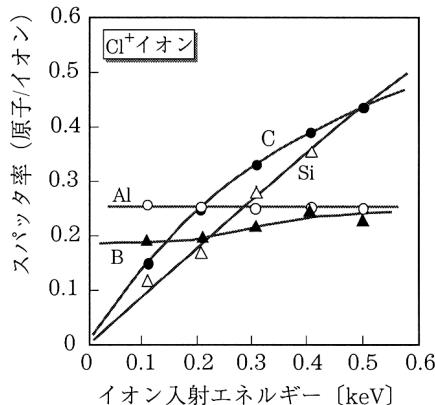
使用ガスの種類の例

シリコン	CF ₄ , CF ₄ -O ₂ , C ₂ H ₆ , CCl ₄ , CBrF ₃ , CF ₂ Cl ₂
ポリシリコン	CF ₄ , CF ₄ -O ₂ , SF ₆ , CCl ₂ F ₂ , SF ₆ , C ₂ Cl ₂ F ₄
Si ₃ N ₄	CF ₄ , CF ₄ -O ₂ , NF ₃ , CH ₂ F ₂
SiO ₂	CF ₄ , CF ₄ -H ₂ , C ₂ F ₆ , CHF ₃ , C ₃ H ₈
Al	BCl ₃ , CCl ₄ , SiCl ₄ , Cl ₂ , HCl, BBr ₃ , HBr
W, Mo, Ti	CF ₄ , CF ₄ -O ₂ , NF ₃ , CCl ₄ -O ₂
Cr	Cl ₂ , CCl ₄ -O ₂
ポリマー	O ₂
シリサイド (W, Mo)	CF ₄ , CF ₄ -O ₂ , CCl ₄ -O ₂
ドライエッティングのエッティング速度 [nm/分]	
被加工材料	Si, SiO ₂ , Si ₃ N ₄ , Al
反応ガス	SF ₆ , ClF ₃ , CCl ₄
Si	100
SiO ₂	10 以下
Si ₃ N ₄	100
Al	—
SF ₆	10 以下
ClF ₃	100
CCl ₄	10 以下

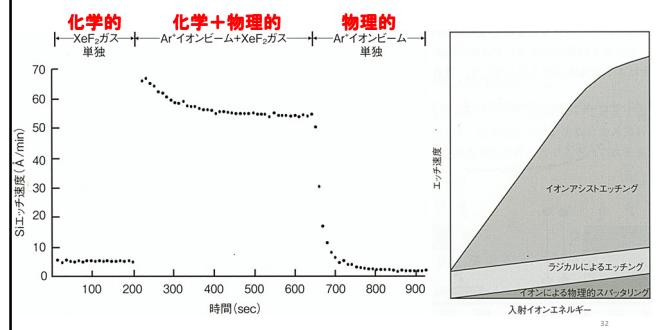
反応ガスと反応生成物: 物理的だけでなく、化学的エッティングも起こる様にガスを選定する。また、Cuは200°C以下で揮発する反応生成物が無いため、化学的ドライエッティングが困難。各種化合物の蒸気圧が10Torrになるときの温度

化合物	温度 [°C]	化合物	温度 [°C]	化合物	温度 [°C]
AlBr ₃	118.0	Cu ₂ I ₂	656	SbI ₃	223.5
AlCl ₃	123.8	FeCl ₃	235.5	SiCl ₄	-34.7
AlF ₃	1 324	GeCl ₄	-15.0	SiClF ₃	-127.0
AlI ₃	225.8	KBr	982	SiCl ₂ F ₂	-102.9
BBr ₃	-10.1	KCl	968	SiCl ₃ F	-68.3
BCl ₃	-66.9	MgCl ₂	930	SiF ₄	-130.4
BF ₃	-141.3	NaI	903	SnBr ₄	72.7
CrO ₂ Cl ₂	13.8	NiCl ₂	759	SnCl ₄	10.0
Cu ₂ Br ₂	718	SbBr ₃	142.7	SnI ₄	175.8
Cu ₂ Cl ₂	702	SbCl ₃	85.2		

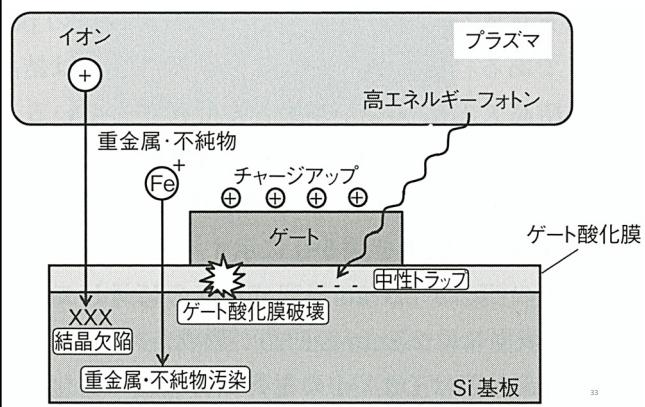
物理的/化学的エッティングの割合: 反応ガスの種類だけではなく、イオンエネルギーにも依存している。



イオンアシストエッティング現象: 反応ガスによる化学的エッティング単独やイオンスパッタによる物理的エッティング単独よりも、両方同時にを行うとスパッタ部が高温になるので(異方性)エッティング速度が上がる。

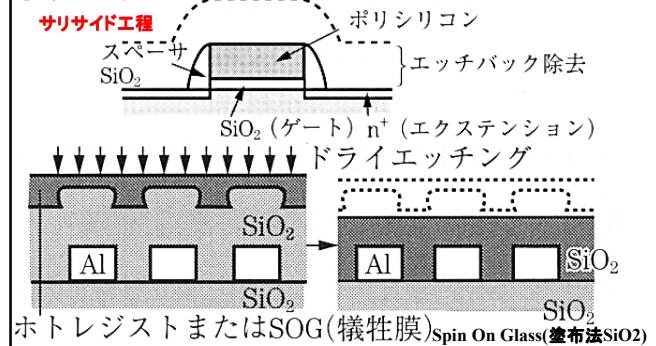


ドライエッティングダメージ: 低イオンエネルギー化、重金属汚染源の除去、プラズマ均一性の向上でダメージを軽減。

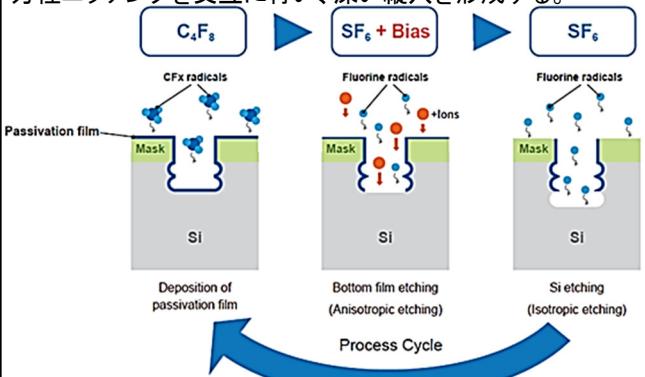


エッチバック(全面エッティング): フォトリソグラフィーを使わずにウェハー全面をエッティングすることをエッチバックという。

サリサイド工程や表面の出っ張りを平坦化する工程等に使われる。

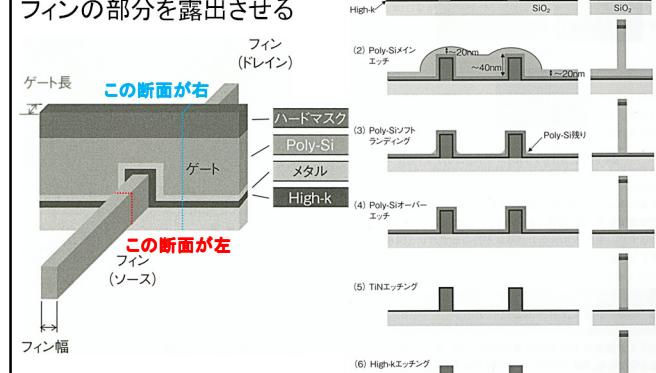


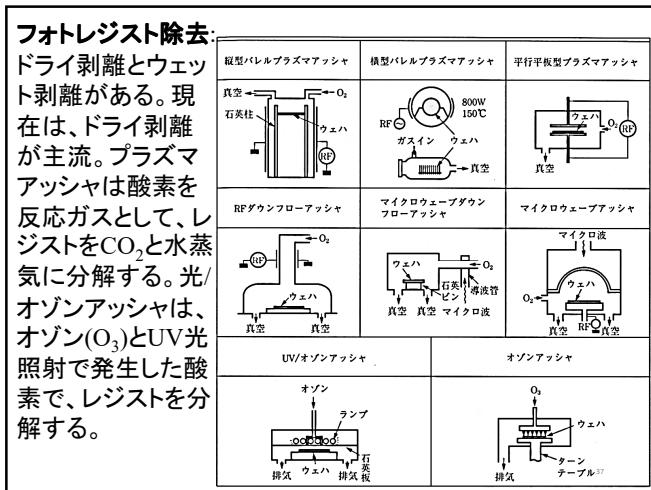
ボッシュプロセス: 3D NANDフラッシュやTSVを作製するためには、ポリマー堆積による(側壁)表面保護と穴底部の異方性エッティングを交互に行い、深い縦穴を形成する。



マルチゲートFETのエッティング例:

フィンの部分を露出させる





プラズマアッシャ装置:



38

