

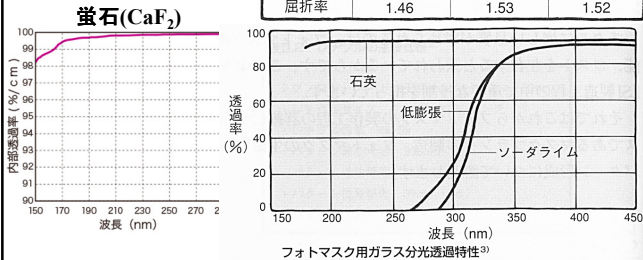


## マスクブランクの材料:

マスク基板は、短波長光の透過率が高い石英ガラスや蛍石等が使われる。

フォトマスク用ガラス主要特性<sup>3)</sup>

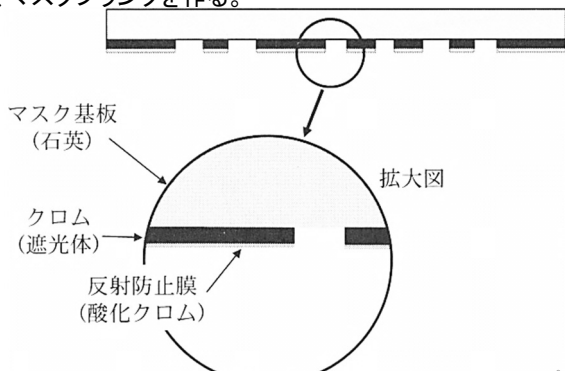
ガラス種類	石英ガラス	低膨張ガラス	ソーダライムガラス
組成 (%)			
SiO <sub>2</sub>	100	60	70
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	—	15	—
B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	—	5	—
Na <sup>+</sup> 2O <sup>-</sup>	—	1	8
K <sub>2</sub> O	—	1	9
RO	—	18	13
熱膨張率 (×10 <sup>-7</sup> /K)	5	37	93
屈折率	1.46	1.53	1.52



## (余談) 蛍石レンズ

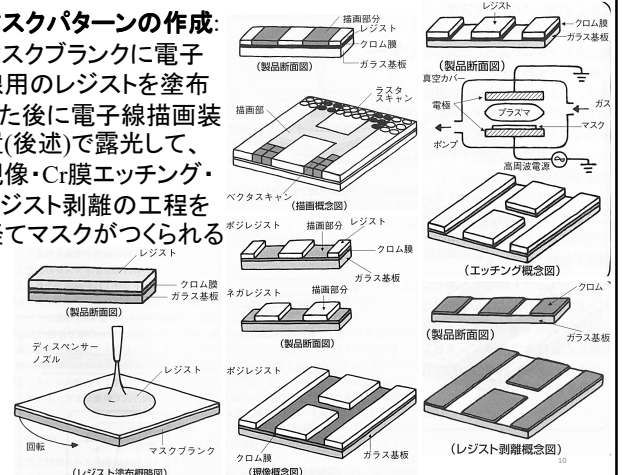


**マスクブランクの作成:** マスク基板に遮光体のCr薄膜(約80nm)と反射防止膜(酸化クロム等)をスパッタリングで成膜し、マスク blanks を作る。

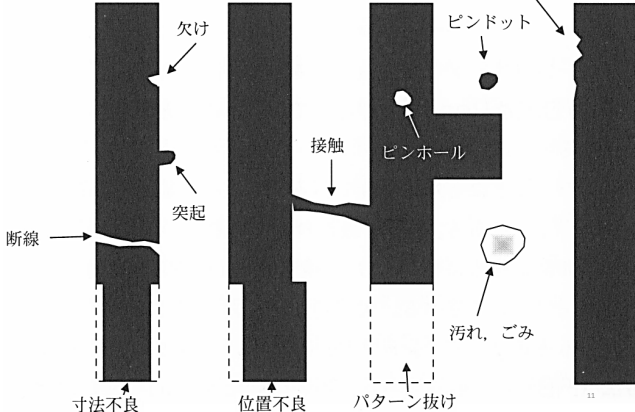


## マスクパターンの作成:

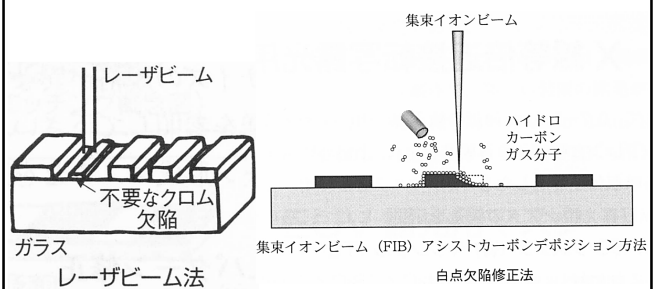
マスク blanks に電子線用のレジストを塗布した後に電子線描画装置(後述)で露光して、現像・Cr膜エッチング・レジスト剥離の工程を経てマスクが作られる。



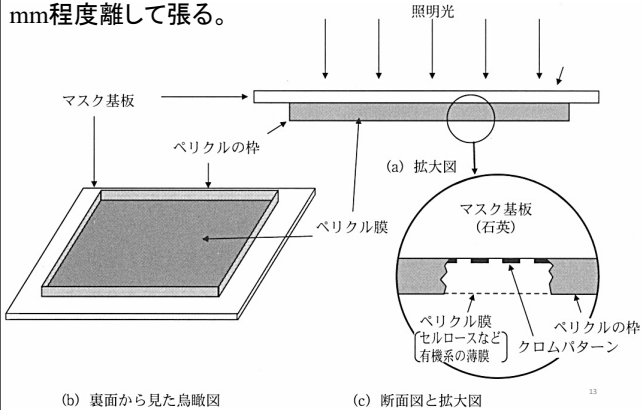
**マスクの欠陥検査:** 回路パターンに欠陥が無いかどうかを調べる。



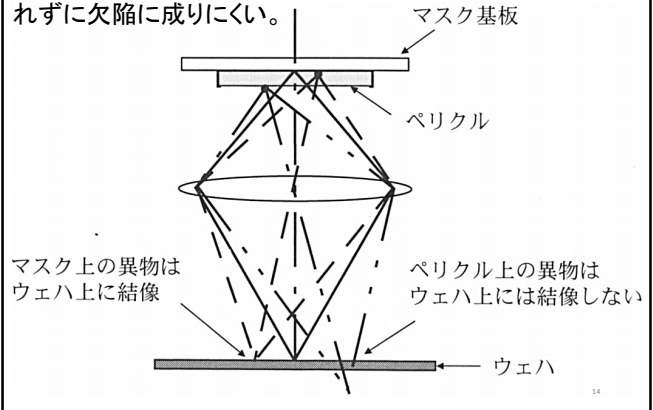
**マスクの修正技術:** 回路パターンに不要な遮光体(Cr)が残っている場合には、レーザービームで削除する。一方、必要な遮光体が欠けている場合には、集束イオンビーム・アシスト・カーボン・デポジション法で炭素を堆積させる。



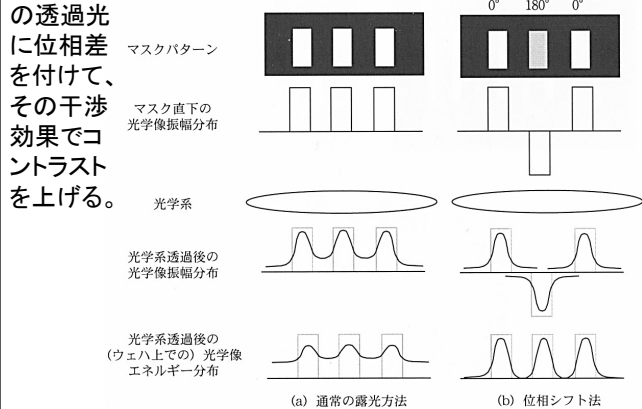
**ペリクル:** マスクの取り扱い中に、ゴミがマスク表面に付着しないように、ペリクルと呼ばれる透明膜をマスク面から数mm程度離して張る。



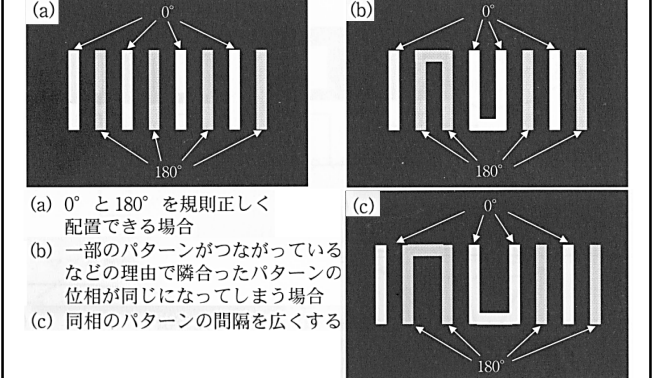
**ペリクルの役割:** ペリクルに付着したゴミは、露光装置のレンズの焦点から外れているため、Siウェハー上には結像されずに欠陥に成りにくい。



### 解像力向上技術: 渋谷-レベンソン型位相シフトマスク (Phase-Shifting Mask: PSM)法: マスクの隣接した開口部の透過光に位相差を付けて、その干渉効果でコントラストを上げる。



**PSM法の問題点:** 複雑な回路パターンでは開口部ごとに、どのような位相を与えるかを最適化しなければならない。また、開口部の形状によっては適用できないこともある。



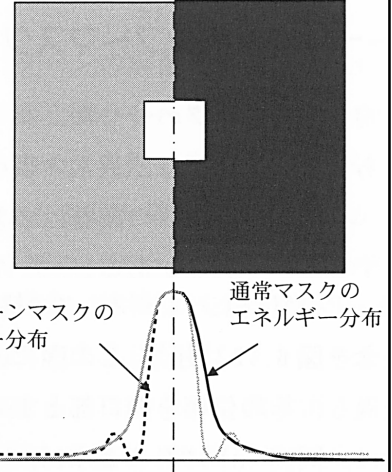
**ハーフトーン型位相シフトマスク法:** 通常の遮光体(Cr)をハーフトーン材料に変更する。ハーフトーン材料は、透過光の位相を180°回転させてレジストが感光しない程度の強度だけ透過させるので、開口部の透過光との干渉効果でコントラストが上がる。

ハーフトーン位相シフトマスクの遮光体材料

波長	i 線 (365 nm)		KrF (248 nm)		ArF (193 nm)	
機能	SiO <sub>2</sub>	MoSiO	CrFO	MoSiO	MoSiO	TaSiO
位相制御	SiO <sub>2</sub>	MoSiO	CrFO	MoSiO	MoSiO	TaSiO
透過率制御	Cr		Cr			Ta

### ハーフトーンマスクの効果:

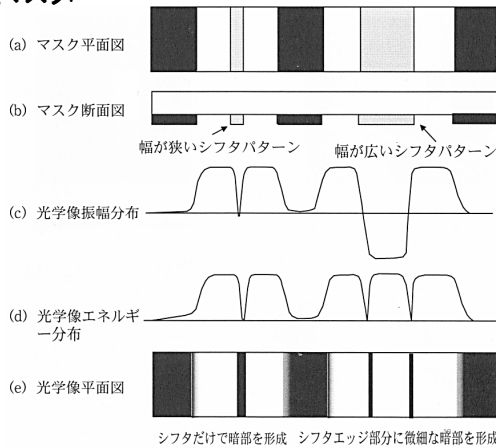
ハーフトーンマスクは、マスクの設計を大きく変えたり、開口部ごとに位相を最適化する必要が無いため、広く普及している。





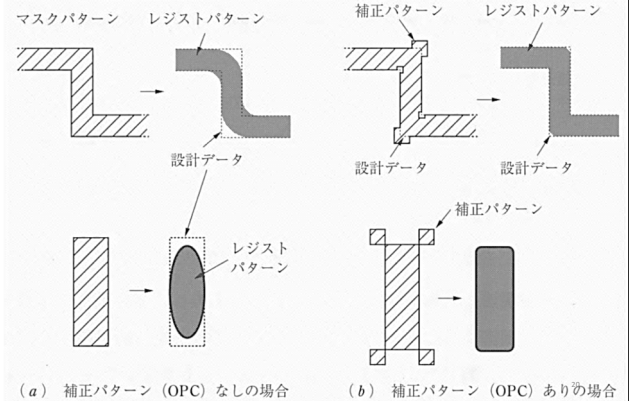
### クロムレス型マスク:

ハーフトーン  
位相制御材  
の細長い  
パターンを使  
うことで、より  
微細な細線  
パターンをつ  
くることがで  
きる。



シフトだけで暗部を形成 シフトエッジ部分に微細な暗部を形成

### 光学近接補正(OPC: Optical Proximity Correction)法: マスクパターンにあらかじめ補正を施しておく。



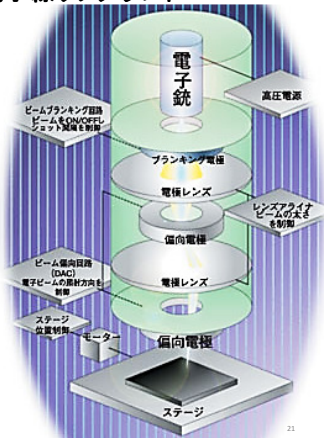
(a) 補正パターン (OPC) なしの場合

(b) 補正パターン (OPC) ありの場合

### 次世代のリソグラフィー: 電子線リソグラフィー:

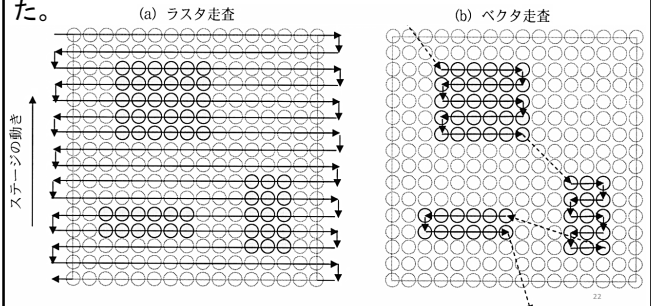
フォトマスクをつくるために  
使われていた電子線描画  
装置で、直接Siウェハー上  
に塗布した電子線レジスト  
を露光する。

電子線は細く絞れるので、  
10nm以下のパターンを露  
光することができる。しかし、  
スループットが10枚/時間と  
低いので、あまり普及して  
いない。



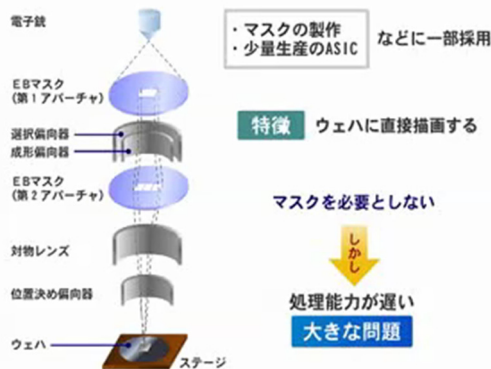
21

電子線描画装置のスループットの向上方法: 全てのパター  
ンを細く絞った電子線で塗りつぶす方式には、ラスタ走査型  
とベクタ走査型がある。パターン数が少ない場合には、ベク  
タ走査型の方がスループットが上がる。ベクタ走査型は、成  
形絞りを使って一括露光する固定成形ビーム型へと発展し  
た。



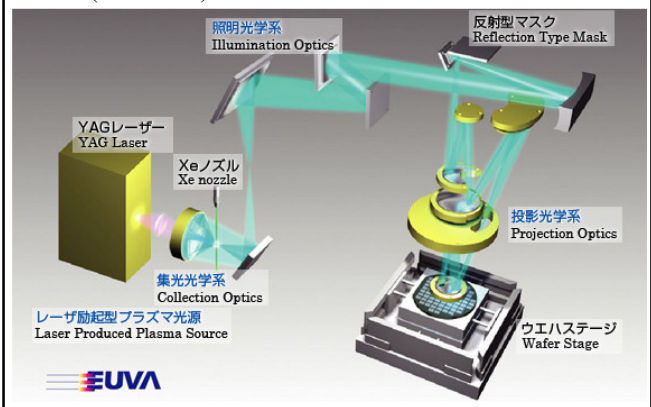
22

### 電子線リソグラフィーの解説:

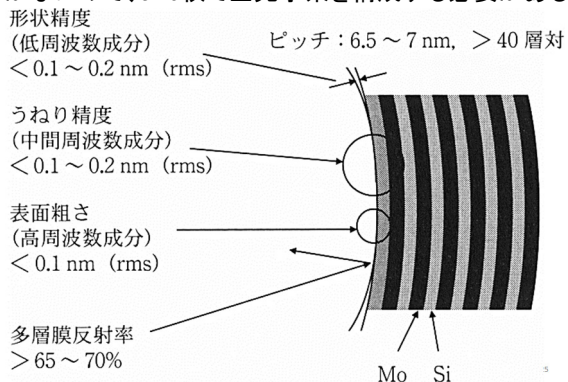


23

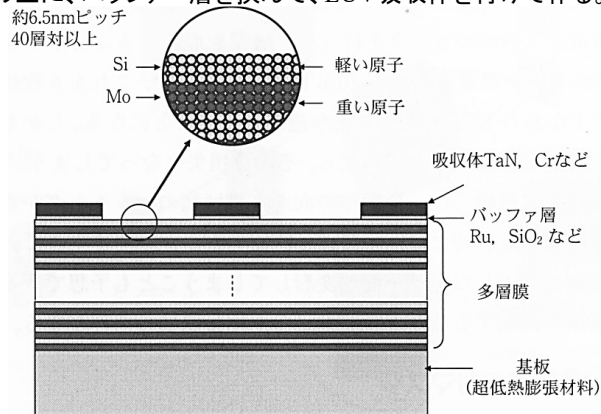
### 遠紫外線(Extreme Ultra-Violet: EUV)リソグラフィー: 短波長( $\lambda=13.5\text{nm}$ )のEUV光を使った縮小投影露光方式。



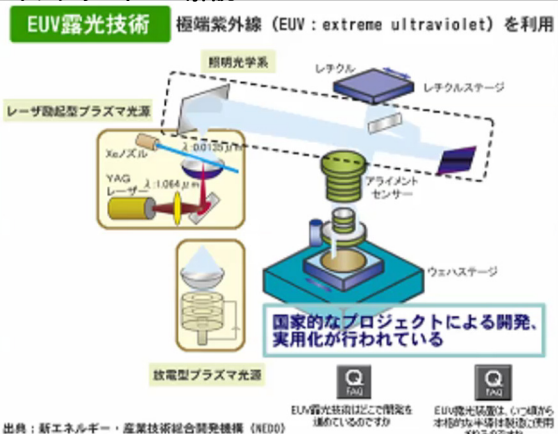
**EUVの多層膜反射ミラー:** 透過レンズになる材料が無い  
ため、多層膜反射ミラーで光学系を構成する。反射率が70%  
程しかないので、5~6枚で全光学系を構成する必要がある。



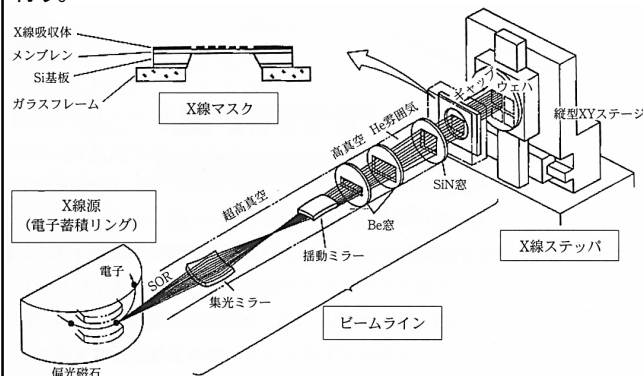
**EUVの反射型マスク:** 反射型マスクは、多層膜反射ミラー  
の上に、バッファ層を挟んで、EUV吸収体を付けて作る。



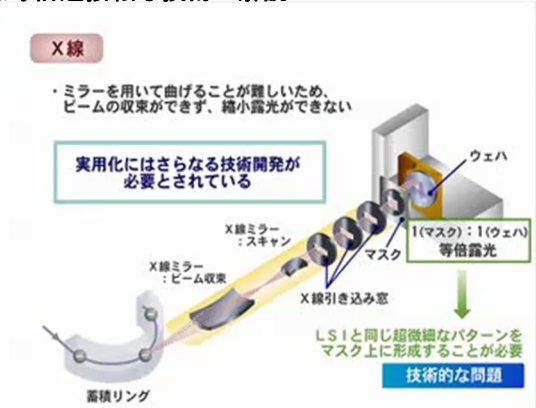
### EUVリソグラフィーの解説:



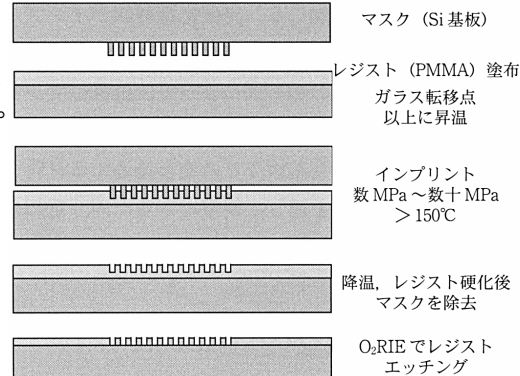
**X線等倍近接転写技術:** シンクロトロン放射光( $\lambda=0.5\text{nm}$ )を  
X線源にして、近接方式(プロキシミティアライナ)の露光を  
行う。



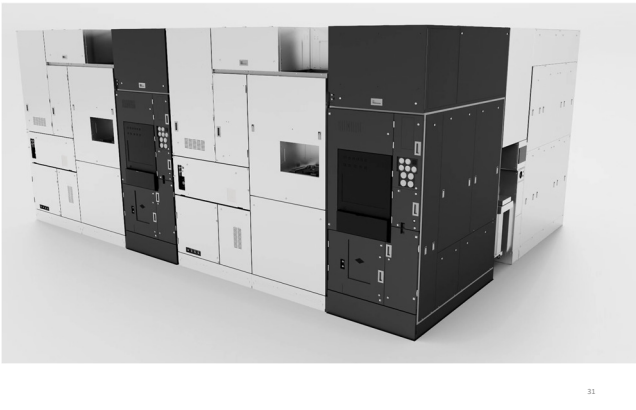
### X線等倍近接転写技術の解説:



**ナノインプリント技術:** 電子線リソグラフィー法でSiや石英  
基板に回路パターンの凹凸を作製し、レジストが塗布され  
たSi基板に押し当てて回路パターンを転写する。数十nm程  
度の細線  
パターンも  
形成するこ  
とができる。

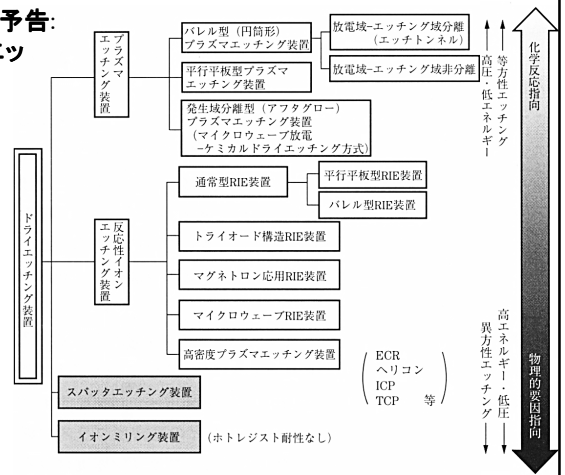


## ナノインプリント装置:

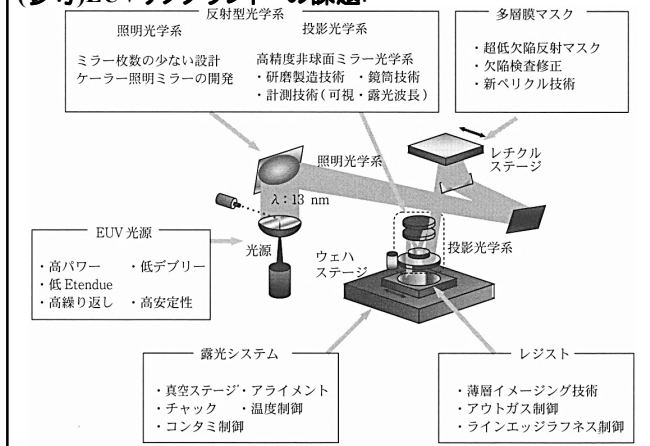


31

## 次回の予告: ドライエッ チング:



## (参考)EUVリソグラフィーの課題:



## (参考)紫外線硬化型レジストのナノインプリント技術:

