

論文の内容の要旨

論文題目 SF_6/H_2 ダウンストリームプラズマを用いた数値制御局所
ドライエッチングによるシリコンウェーハ平坦化に関する研究

氏名 柳澤 道彦

1. 緒言

ULSI の微細構造化に伴い Si ウェーハに要求される平坦度は極めて厳しくなっている。CDE 技術(Cheical dry etching)¹⁾を応用し、 SF_6/H_2 ダウンストリームプラズマによりウェーハを高速・高精度に加工する Si ウェーハ平坦化技術を開発した。この技術は中性ラジカルを利用することでダメージのないエッチングが可能である。本論文では本加工法について平坦化性能、プラズマの気相状態、平坦化された Si 表面状態および最近注目されている Nanotopography 改善への検討について報告する。

2. SF_6 ダウンストリームプラズマによる Si 高速エッチング特性

2.1 マイクロ波ダウンストリームプラズマによる局所ドライエッチングシステム

Si ウェーハ用数値制御ドライエッチング(NC-LDE)装置を図 1 に示す。アルミナ放電管上端より SF_6, H_2 および Ar の混合ガスが供給される。他端はノズルに接続されておりプラズマ中で発生したフッ素原子はノズルを通りウェーハ表面まで輸送される。ノズルと同心円状に配置されている差動排気管と、チャンバ内に供給される N_2 ガスによりエッチングエリアが限定される。

2.2 数値制御ドライエッチング法

図 2(a) は Si エッチングプロファイルで、この時 SF_6 90%、Ar 9%、 H_2 1%、マイクロ波は 560W である。エッチングエリアは約 40mmφ に限定されており、最深部のエッチレートは約 130 $\mu\text{m}/\text{min}$ という高速エッチングが実現している。

図 2(b)は、Si ウェーハをノズルに対し直線移動したときの相対速度とそのときのエッチング深さの関係を示している。エッチング深さは走査速度の逆数に対して非常に良い線形性を有しており、走査速度の制御により高精度加工が可能であることが示された。

2.3 大口径 Si ウェーハ平坦化への応用

この NC-LDE を使い 200mmφ ウェーハの平坦化を行いサイトフラットネス(SBIR)と、グローバルフラットネス(GBIR)を評価した²⁾ (図3)。SBIR 最大値と GBIR はそれぞれ 0.51 μm から 0.08 μm 、0.8 μm から 0.12 μm と大きく改善されている。

2.4 平坦化後の Si 表面の状態観察

図4はエッチングされた Si 表面と表層の状態を調べるために行った GOI(Gate Oxide Integrity)の結果である。本評価では TZDB(Time Zero Dielectric Breakdown)法³⁾を用いた。ウェーハはミラーポリッシュ品でありその特性を下段に示す。破壊電圧(E_{BD})は 8.56MV を中心に広く分布している。このウェーハを NC-LDE により全面 2 μm エッチングしたサンプルを測定したものが中段である。 E_{BD} 分布は 9.43MV 付近に集中しており、耐圧特性が向上している。上段は同一ロットのウェーハを H_2 アニール処理したものについて測定を行ったものである。この結果から、NC-LDE を行ったウェーハの表面および表層の結晶状態は通常のミラーポリッシュウェーハに比べ格段に改善されることが判った。

3. FTIR-RAS および XPS による局所エッチング表面の分析

3.1 背景

静止した状態で、同一部分を局所エッチングしている場合には、エッチング後のウェーハは鏡面状態を維持している。しかしながら、走査させると、図5のように Si ウェーハ表面が白濁する特異な現象が生じた。この現象は SF_6/Ar に 1%の H_2 を添加することで解決したが、ここでは白濁の発生機構について調べた結果を述べる。

3.2 FT-IR による SF_6 ダウンストリームプラズマの気相および表面の観察

図6はエッチング中のウェーハ近傍の気相状態および Si 表面の状態を測定した IR-RAS 装置である。

まず放電管材質の違いにより気相状態にどのような変化が生じているかを調べた。図7は放電管材料として石英管およびアルミナ管を使用した場合の気相 IR 吸収スペクトルを示したものである。 SF_6 ガス状態では 945 cm^{-1} に

S-F 伸縮による吸収が、 613cm^{-1} には S-F 変角振動による吸収が見られる。石英管内でプラズマを発生させると、これらの吸収の他に 1380cm^{-1} 、 1030cm^{-1} および 810cm^{-1} 吸収ピークが観測された。 1030cm^{-1} は SiF_4 の Si-F 伸縮吸収によるものである。これらの結果から、石英放電管では管壁である SiO_2 のエッチングによりエッチング生成物である大量の SiF_4 が生成され Si 表面に至っていることが推測された。一方下段のアルミナ放電管を用いた場合には、 SF_6 ガスと比べ新しい吸収ピークは観測されなかった。

図8には石英放電管での SF_6 放電、アルミナ放電管での SF_6 放電及びアルミナ放電管での SF_6+H_2 放電についてその質量スペクトルを測定した結果を示す。 SF_6 放電と $\text{SF}_6+1\%\text{H}_2$ 放電の質量スペクトルを比べると、 $\text{O}_2^+(32)$ のピーク強度がほぼ同レベルであるにもかかわらず、 $\text{O}^+(16)$ のピークが H_2 添加放電では観測されていないことが判る。この結果は添加された H_2 は O_2 分子ではなく O ラジカルを除去する役割をしていることを示唆している。

3.3 エッチングされた Si 表面の XPS 観察

図9はエッチング後の Si 表面を XPS(PHY, ESCA1600)にて測定したものである。(a)は石英管を使用した SF_6 プラズマでエッチングされたサンプル、(b)はアルミナ管を用いた SF_6/H_2 プラズマでエッチングされたサンプルのものである。(a)に関しては $\text{O}1s$ のピークが高結合エネルギー側にシフトしていることから Si 表面の O-F 結合の存在が示唆される。

一方 (b) の場合は $\text{O}1s$ のピークシフトは見られない。前述の質量スペクトル測定結果より O_2 分子は存在しているはずであることから、表面の O-F 結合形成に O_2 分子は関与しないことが示唆される。

3.4 結論

以上の分析から、 SiF_4 と O ラジカルの共存が重要であり SiF_4 源は石英管では管壁材料、アルミナ管では Si のエッチング生成物であると考えられる。石英管の場合では管壁エッチングにより大量の SiF_4 及び O_x がプラズマ中に供給されこの SiF_4 と O_x の解離した O ラジカルが Si 表面で反応し SiF_xF_y が形成される。アルミナ管+ SF_6 プラズマの場合は放電管から脱離した O_x がプラズマ中で O ラジカルとなりこれと Si エッチングにより生成した SiF_4 が反応し SiF_xF_y が形成される。水素添加はこの O ラジカルを除去していると考えられる。

4 Nanotopography の修正加工

4.1 背景

STI(Shallow Trench Isolation)の平坦化への CMP 技術の導入により Si ウェーハには新しい平坦度が注目されてきた^{4,5)}。図10はウェーハ表面に空間波長 λ の凹凸がある場合の問題を示している。酸化膜堆積後 CMP で平坦化すると図のように凹部に残膜が生じる問題が発生する。この凹凸を Nanotopography と呼び、これを発生させない方法は様々検討されているが発生した Nanotopography を除去する技術は見出されていない。

4.2 Nanotopography とエッチングの空間波長

図12は Si 上の凹凸の空間波長と 4~6mm の径のノズルでの除去特性を示している。空間波長が大きくなるとその除去率も向上し 4mm ノズルでは 12mm の波長成分は約 50%、17mm のではほぼ 100%除去できることが示されている。

4.3 エッチング特性とノズル径

図13はノズル径を変えたときのマイクロ波および SF_6 ガス流量とエッチレートの関係を示したものである。エッチレートはマイクロ波とともに上昇する。しかしながらその上昇率はノズル径により異なり、5mm ノズルではマイクロ波が 200W から 400W と 2 倍になったときエッチレートは 7.0nm/s から 120.5nm/s と約 17.3 倍になっているのに対し 3mm ノズルでは約 2.5 倍程度である。これは細径ノズルでは放電部からウェーハまでのコンダクタンスが小さくなり F ラジカル滞留時間が長くなったことによると考えられる。

Nanotopography 除去実験

200mm ウェーハを用いて Nanotopography 除去実験を行った。ウェーハ測定には ADE Phaseshift 社製 NanoMapper を使用した。図14は平坦化前後の 2 次元マップ及び断面テータである。(a)の 2 次元マップでは黒部が谷、白部は山を示している。この図からウェーハ全面において Nanotopography 除去効果が有ったことが判る。

4.5 結論

Nanotopography の除去に NC-LDE の適用を検討した。ノズル径とその除去特性を明らかにし、200mm ウェーハ全面に対し除去を確認できた。

参考文献

- [1] Y. Horiike and M. Shibagaki, : J. Appl. Phys. Suppl. 45(1976)13.
- [2] SEMI-Int'l stds. 1999. Materials M1-0699 (1999).
- [3] S.Holland and C.Hu: J. Electrochem. Soc.**133** [8], 1705 (1986).
- [4] C.Shan, Xu, Eugene Zhao, Rahul Jairath and Willy Krusell: Electrochem., Solid State Lett.,1,(1998)181
- [5] K.V.Ravi:Proceeding of Future Fab International, Semicon West, 207(1999).

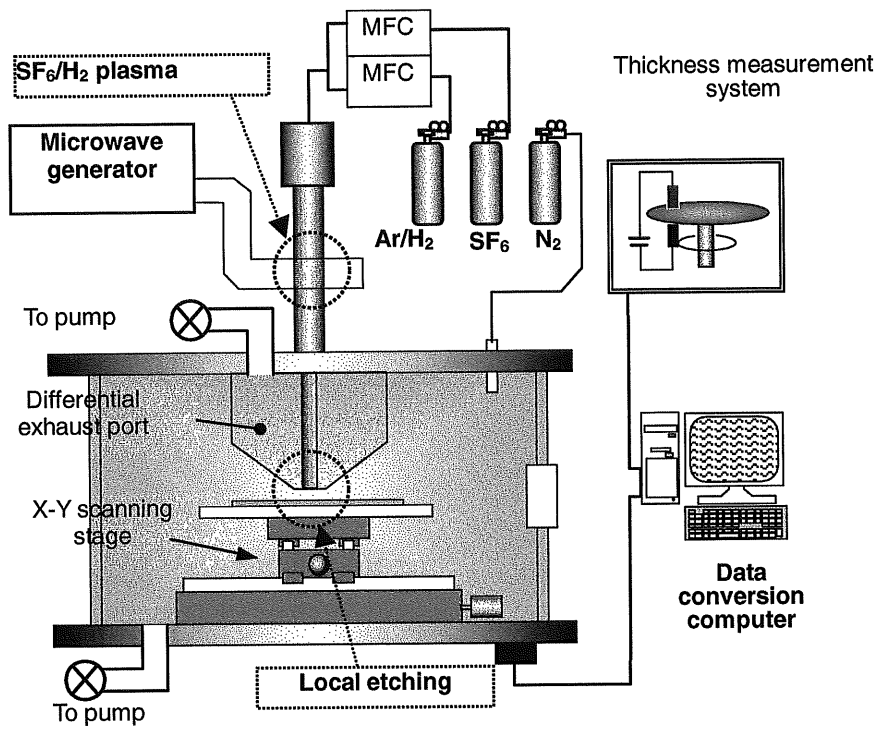


図1 数値制御ドライエッチング装置(NC-LDE)

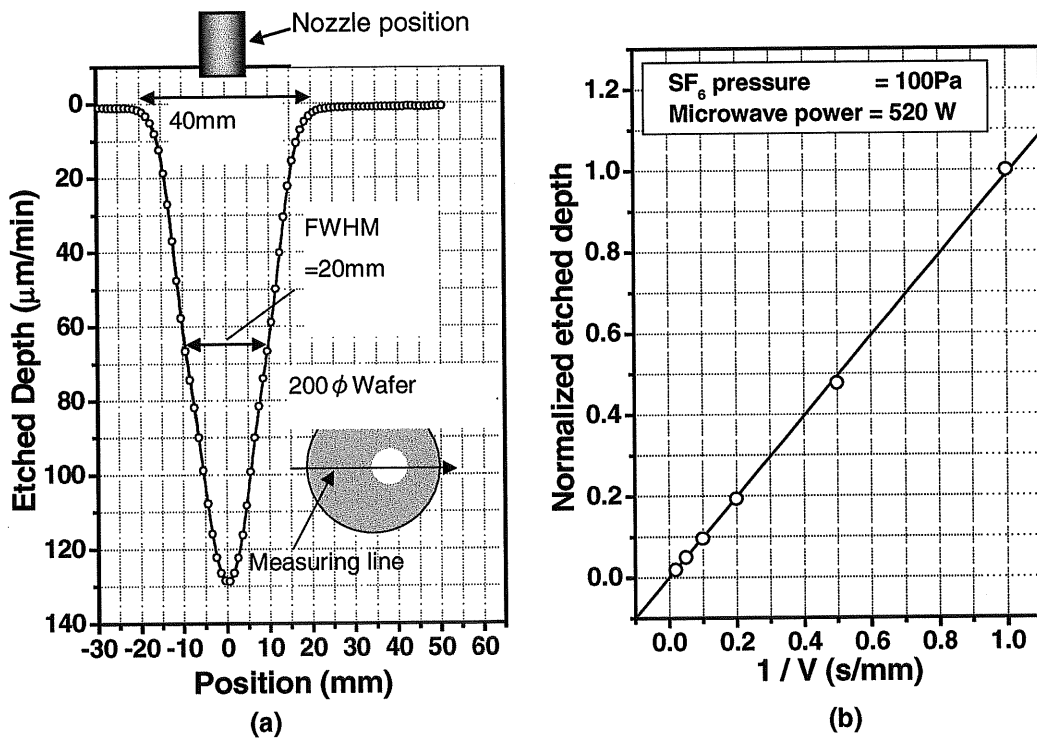


図2 Si 局所エッチング特性 (a)ノズル直下のエッチングプロファイル (b)走査速度とエッチング深さの関係

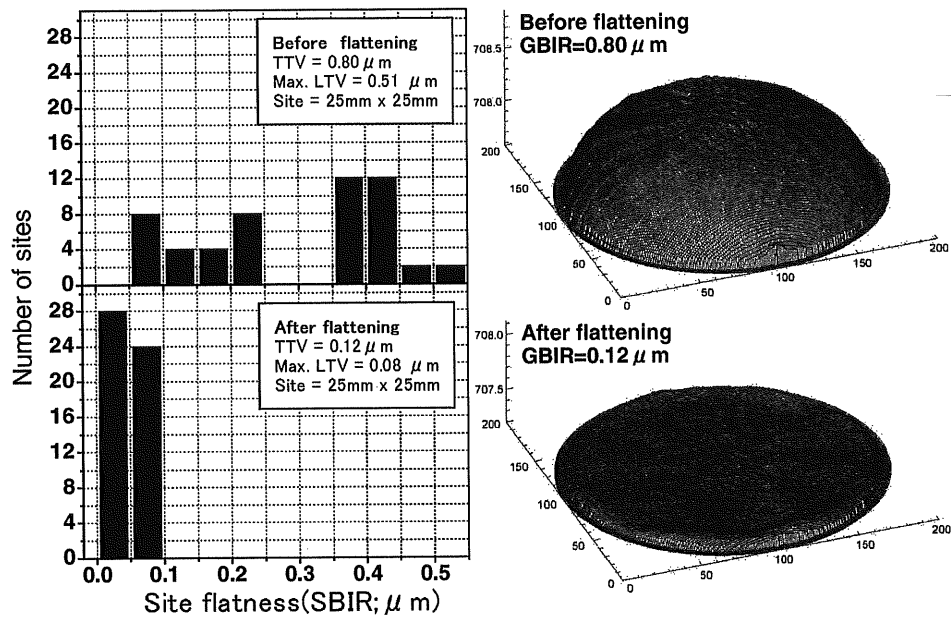


図3 NC-LDE 平坦化による平坦度の変化

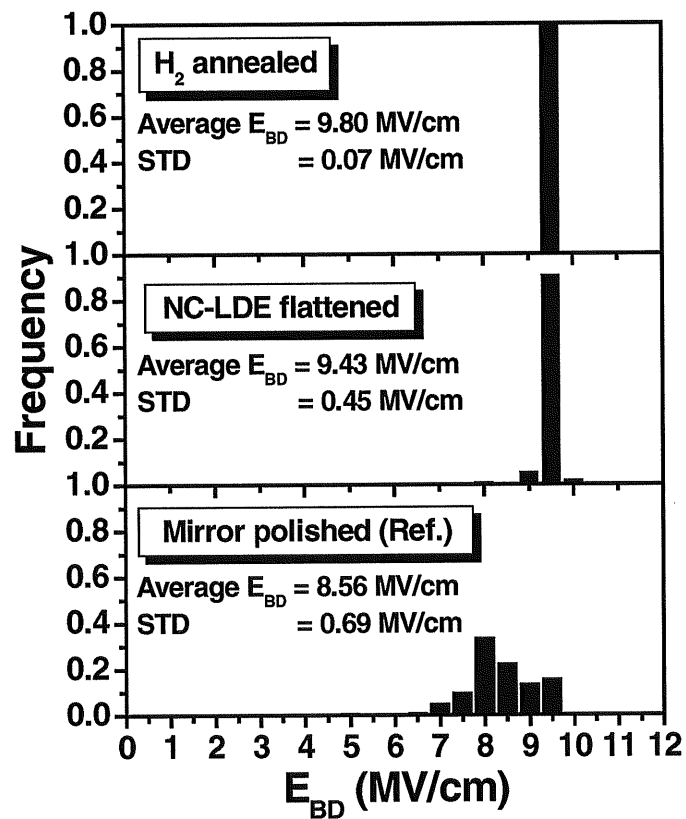


図4 NC-LDE によるGOI 特性

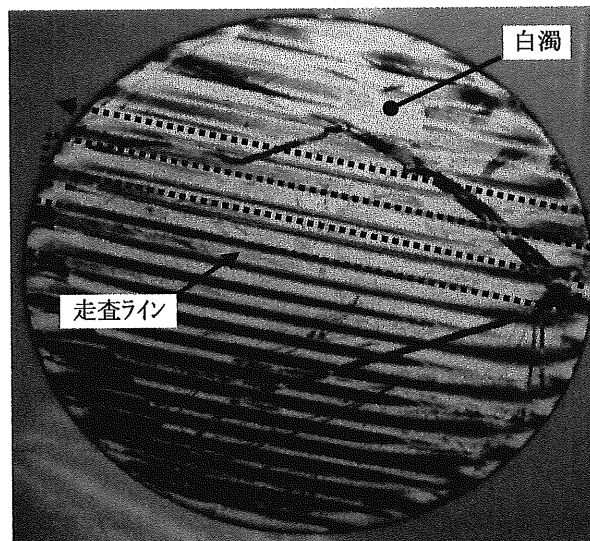


図5 SF₆ NC-LDE によりウェーハ表面に生じた”白濁”

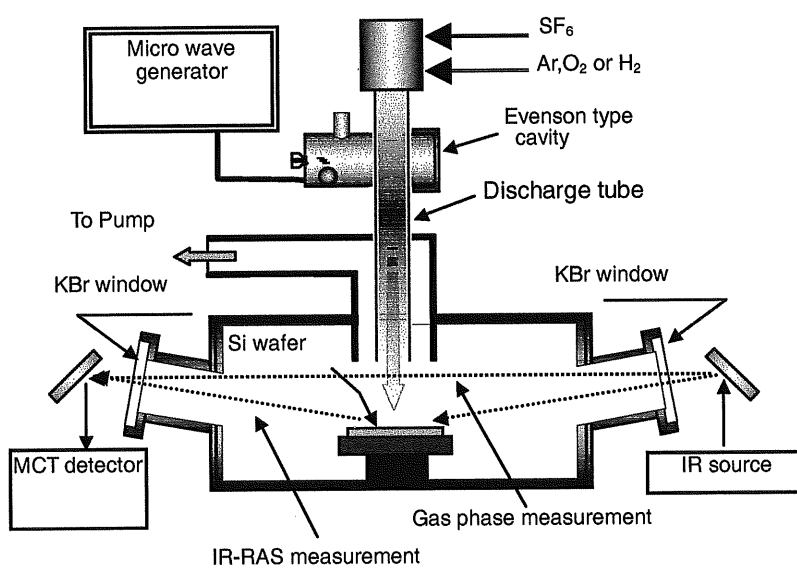


図6 IR-RAS 測定装置

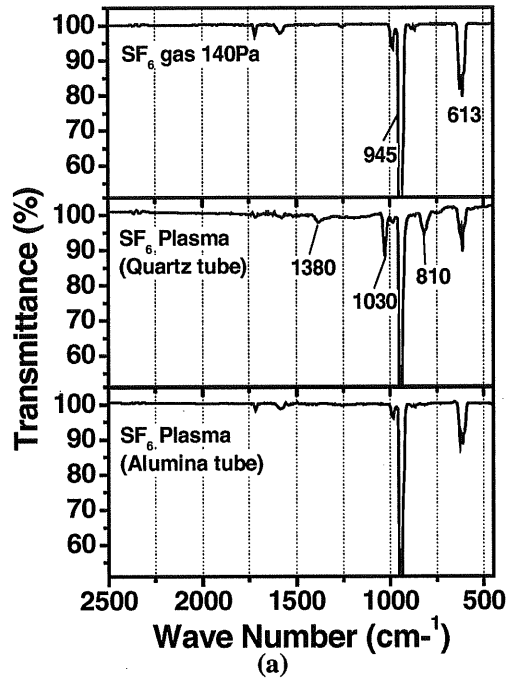


図7 SF₆ダウンストリームプラズマの気相 IR 吸収スペクトル

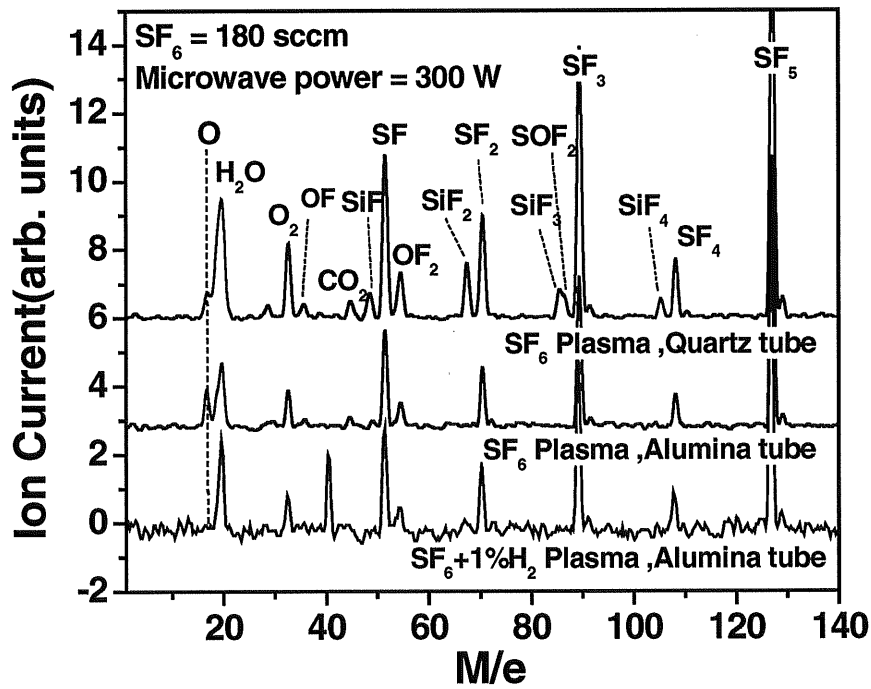


図8 SF₆及びSF₆/H₂ダウンストリームプラズマの質量スペクトル

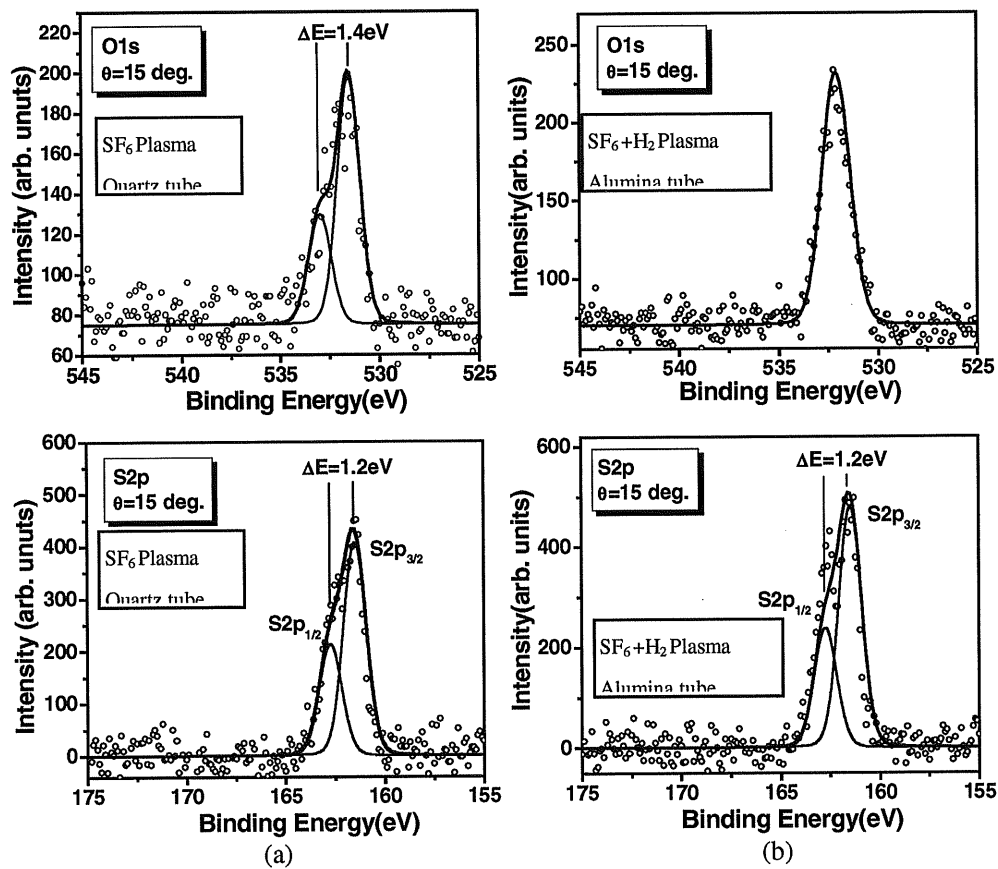


図9 エッチングされた Si 表面の XPS スペクトル (a)石英放電管を使用した SF₆プラズマ (b)アルミナ放電管を使用した SF₆+H₂プラズマ

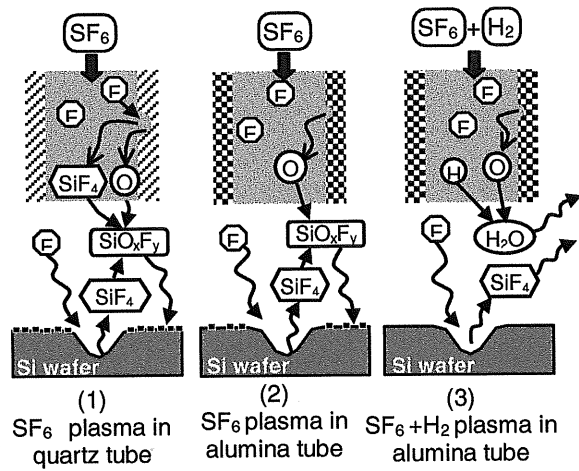


図 11 ウェーハ表面白濁現象の発生モデル

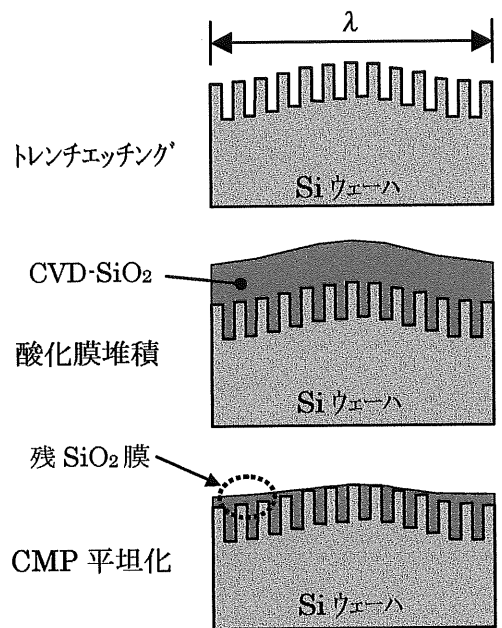


図 10 STI-CMP おける Nanotopography の影響

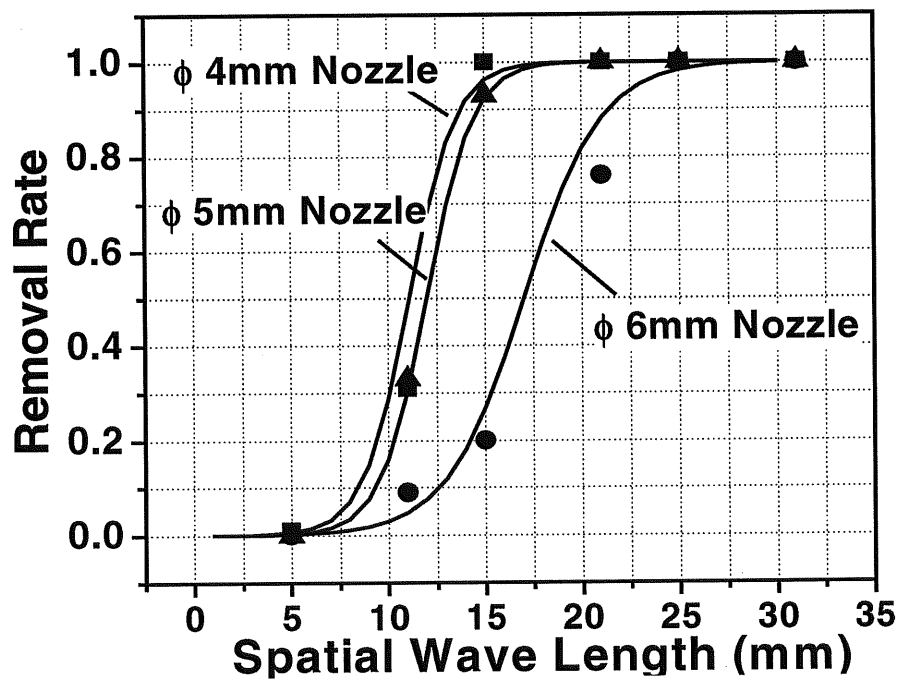


図 12 Si 空間波長とその能除去率

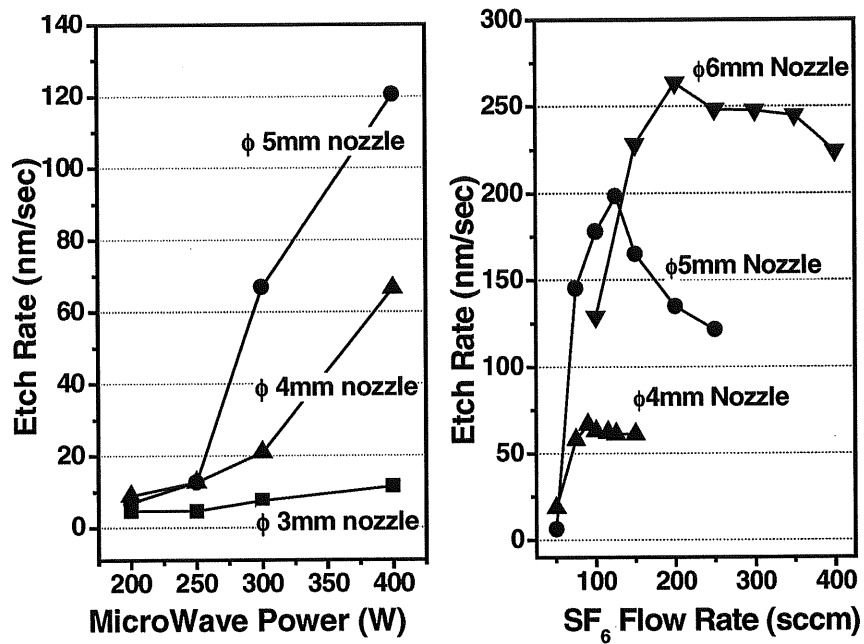


図13 エッチレートのマイクロ波パワーおよび SF₆ 流量依存性

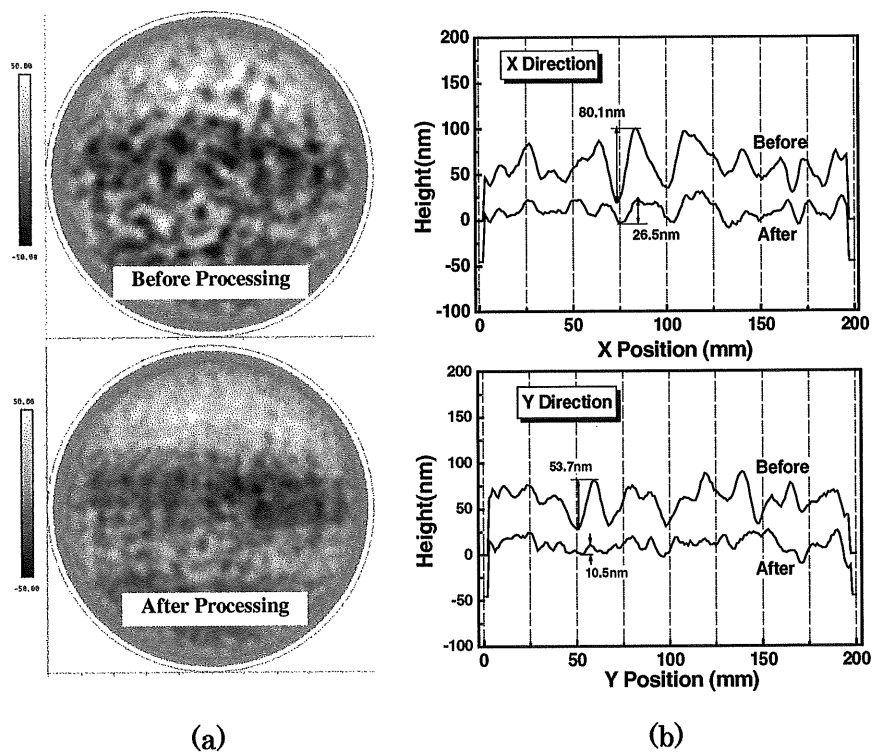


図14 NC-LDEによるNanotopography平坦化結果 (a)Michelson干渉計による2次元凹凸マップ (b)ウェーハ中心を通る直線上の凹凸高さ分布