

アンモニア添加パルス変調 C_5F_8 プラズマによるコンタクトホールエッチング 及び発光分光特性

大岡 昌洋 (先端研量子物質科学専攻 D1),

横山 新 (ナノデバイス・システム研究センター 教授, 先端研半導体集積科学専攻)

これまでの研究成果

1. 序論

CF_4 や C_4F_8 のような従来 SiO_2 膜のエッチングに用いられていたフッ化炭素ガス(PFCガス)は、地球温暖化に対する影響が大きく、また大気中での寿命も長い。そのため、使用の削減が求められている(Table 1)[1]。近年では SiO_2 膜のエッチングには、地球温暖化係数(GWP)が小さく、大気寿命も短いPFC代替ガスの使用が求められている。

本研究では、PFC代替ガスの一つである $c-C_5F_8$ に NH_3 とArを混合したガスを用いてパルス変調ICP(Inductively Coupled Plasma:誘導結合プラズマ)によるエッチングを行うことで直径が75nmのコンタクトホールの形成に成功した。また、プラズマの発光分光分析を行いエッチング特性と比較したのでこれを報告する。

2. 実験内容

2.1 エッチング装置

我々はFig.1のようなICPエッチング装置を用いて実験を行った。プラズマ発生のための13.56MHzのRF電源にはパルスジェネレータを接続して、電子温度と電子密度が個々に制御できるパルス変調プラズマを発生させた。またウェハにバイアスをかけるために400kHzのRF電源を接続した。ウェハはレジストマスクのエッチングを抑制させるために $-11^\circ C$ に冷却している。チャンパー内の圧力は15mTorrに設定し、プラズマのソースガスには $c-C_5F_8$ (11 sccm)とAr(60 sccm)に NH_3 (1~5 sccm)を加えた混合ガスを用いた。また、比較のために添加ガスを NH_3 から H_2 や O_2 に変えた場合でもエッチングを行った。

同時に、プラズマの発光分光分析も行った。

2.2 使用サンプル

シリコンウェハ上にAPCVDを使用してPSG(Phospho-silicate-glass)を900nm堆積させ、その上にEBポジレジストによって $0.1\mu m \sim 0.8\mu m$ のコンタクトホールパターンを形成したものをを用いてエッチングを行った。エッチング後にはレジストとエッチング残渣を除去するためにアッシングを行い、その後硫酸過水によってウェハを洗浄した。

3. 結果と考察

3.1 添加ガスの効果

C_5F_8 /Arプラズマに酸素を添加したことにより、エッチング形状と SiO_2 /Si選択性に大きな変化が見られた(Fig. 2(a))。酸素添加により保護膜である C_xF_y ポリマーの生成が抑制される。この結果エッチストップは起こらなくなるが、同時に SiO_2 /Siの選択性も悪化してしまう[4]。

C_5F_8 /Arプラズマに水素を添加したことにより、

SiO_2 /Si選択性は酸素添加に比べて改善された。しかし、垂直性は失われ、微細孔ではエッチストップが起こってしまった(Fig. 2(b))。これは、水素添加によってSiをエッチングするプラズマ中のFラジカルが除去されたためであるが、保護膜の前駆体である C_xF_y ポリマーが除去されないためにエッチストップが発生してしまう[5]。

これに対して、 C_5F_8 /Arプラズマに NH_3 を添加した場合、 SiO_2 /Si選択性は大きく、エッチストップも起こらない微細孔が形成できた(Figs. 2(c), 6)。これは、Fラジカルが NH_3 から発生したHラジカルによって除去されると同時に、過剰な C_xF_y ポリマーもHCNやFCNとなって除去されるためである[6]。

3.2 発光分光分析

プラズマ内で発生したラジカルとエッチング特性を比較する手段として、OES(optical emission spectroscopy)を用いた。エッチングに関わると考えられる、 CF_2 (321.4nm)、F(703.7nm)、CN(386nm)、NH(338.3nm)、H(H α at 656nm)の発光量について、添加ガスの流量との関係の比較を行った。

Fig. 5に、 NH_3 添加の場合の結果を示す。 NH_3 の流量が大きくなるに従ってH、NH及びCN(HCNやFCNの前駆体)がそれぞれ増加し、 CF_2 とFは徐々に減少した。この結果から、エッチストップを起こす過剰な C_xF_y ポリマーを除去するHCNやFCNが NH_3 の流量とともに増えていると考えられる。

COEプログラムと成果の関連

この研究は、21世紀COEプロジェクト”テラビット情報ナノエレクトロニクス”内のテーマ、極限微細化基板技術の一環として行われた。

まとめと今後の予定

C_5F_8 /Arパルス変調プラズマに NH_3 を添加することにより、直径75nmで、アスペクト比が10以上のコンタクトホールを、高い SiO_2 /Si選択性(SiO_2 /Si \approx 80)及び垂直性を両立させて形成することに成功した(Fig. 6)。この技術は次世代のULSIデバイス(例:65nmスケージングのMOSFET)に活用できるものと思われる。

今後の予定として、実際のデバイスで活用するための技術として微細孔への金属埋め込み技術の開発、及びデバイスへ使用した場合のデバイスへの影響の評価などがあげられる。

参考文献

- [1] Third Annual International ESH Conference, Session 6.4, Montrey California, 1996.
- [2] T. Mieno and S. Samukawa, Jpn. J. Appl. Phys. **34**, L1079 (1995).
- [3] K. Takahashi *et al.*, Jpn. J. Appl. Phys., **35**, 3635

(1996).

[4] T. Tatsumi *et al.*, Jpn. J. Appl. Phys. **37**, 2394 (1998).

[5] L.M. Epjrath and E.J. Petrillo, J. Electrochem. Soc. **129**, 2282 (1982).

[6] 徳山 颯, “半導体ドライエッチング技術”, 産業図書 p.73 (1992).

これまでの研究発表、特許等

① 原著論文

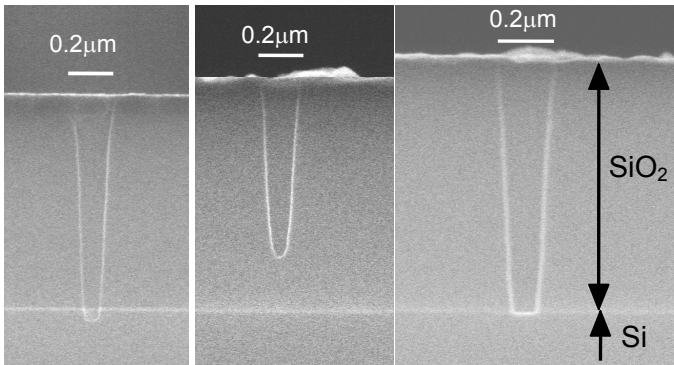
M. Ooka, S. Yokoyama “SiO₂ Hole Etching Using Perfluorocarbon Alternative Gas with Small Global Greenhouse Effect”: Jpn. J. Appl. Phys. **43** (2004) (in press).

② 国際会議プロシーディング等

1. M. Ooka and S. Yokoyama, "Excellent Contact-Hole Etching with NH₃ Added C₅F₈ Pulse-Modulated Plasma" Extnd. Abst. of the Int. Conf. on Solid State Devices and Materials

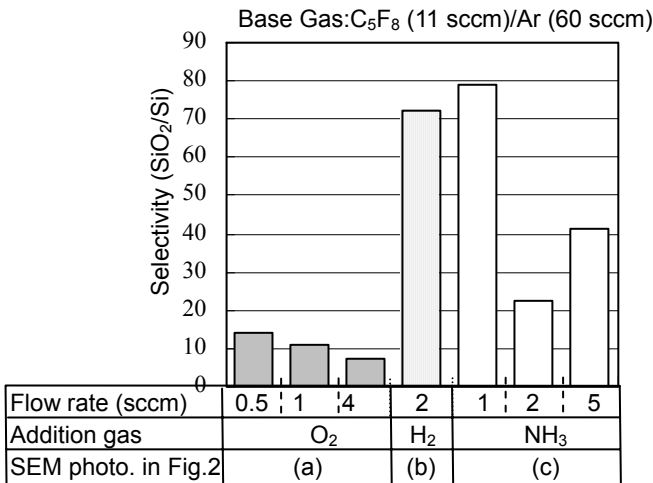
Table 1 GWP and lifetime of some etching gases.

Gas	GWP ₁₀₀	Lifetime (year)
CO ₂	1	50-1200
CF ₄	6500	50000
c-C ₄ F ₈	8700	3200
c-C ₅ F ₈	90	1



(a) O₂ added (b) H₂ added (c) NH₃ added

Fig. 2 SEM photograph of cross section of the 0.2µm contact hole etched with different addition gas.



Etching Condition
Fig. 4 SiO₂/Si etching selectivity for different addition gas and flow rate.

(SSDM2003) (2003) pp. 454-455.

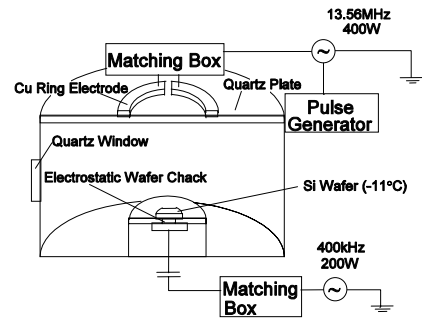


Fig. 1 Schematic diagram of ICP reactor.

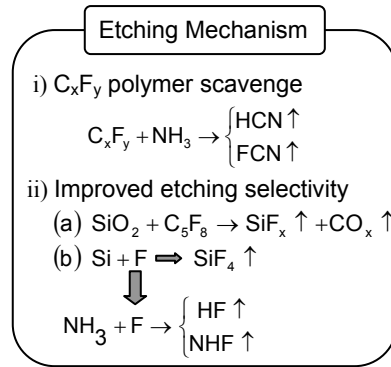


Fig. 3 Mechanism of NH₃ adding effect.

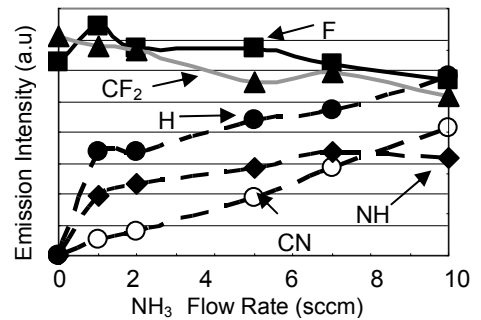


Fig. 5 OES intensity vs NH₃ flow rate.

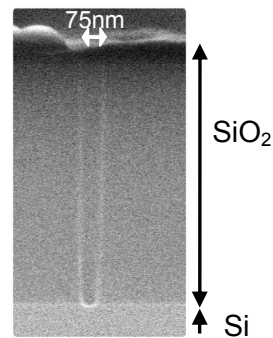


Fig. 6 SEM photograph of the cross section of the sub-0.1µm contact hole (RF ON: 50 µsec/OFF: 25 µsec, 70% over etch).