

小型 ECR イオン源による水晶振動子の 反応性イオンビームエッチング

田 谷 嘉 浩, 菅 原 智 明

Reactive Ion Beam Etching of an Oscillating Crystalline Quartz by a Compact ECR Ion Source

Yoshihiro Taya, Tomoaki Sugawara

要 旨

函館地域企業が試作した ECR 型 RIBE 装置で、 CF_4 、 NF_3 、Ar による AT カット水晶と石英のドライエッチングを行ない、水晶振動子の反応性イオンビームエッチング (RIBE) のエッチ速度について検討した。水晶は石英に比べ、フッ化物ラジカルによるケミカルエッチ速度が遅く、イオンの物理的なスパッタエッチ速度は差がなかった。水晶振動子の RIBE は、エネルギーが高く高効率のスパッタエッチがともなえば、ケミカルエッチ速度も石英と同等となる。また、 NF_3 による RIBE において、圧力： 6.0×10^{-2} Pa、加速電圧：1 kV で 67 nm/min のエッチ速度が得られ、エッチ面もなめらかであった。

水晶振動子は、民生・産業用の無線通信・放送・測定器などの周波数発生源として、広く利用されている。これらの周波数帯域は、1 kHz から 350 MHz までに及び、今後さらに高周波帯域化すると予想されている。また、民生用のビデオ・無線電話・ファックス等の普及により、低価格化はもとより多品種・少ロットの生産体制が進められてきた。厚さと周波数が反比例する水晶を、高周波帯で使用しようとするれば、微細かつ高精度な厚さの加工が要求される。現在、水晶振動子の加工は研磨とウェットエッチングが主である。しかしながら、高精度かつ高品位なエッチングが要求されるにつれ、ドライエッチングの要望が高まり、プラズマエッチングや反応性イオンエッチング (RIE) などのドライエッチングに関する研究^{1)~3)}が行われ、一部実用化されている。水晶振動子のドライエッチングには、次の利点および効果が期待されている。

- (1) 汚染が少ない
 - (2) 高周波数化
 - (3) 周波数をモニターしながら行える
 - (4) 微細性と精度の向上
 - (5) 水晶と電極膜との密着性の向上
 - (6) 廃液による環境汚染の心配がない
- これらの内、(3) に関してはエッチングの自動化の可能性を期待させるものである。しかしながら、プラズマエッチングや RIE では、(3) または (5) に関する効果はあまり期待できない。これらの利点および効果を、すべて期待できるドライエッチング方法として、反応性イオンビームエッチング (RIBE) がある。一方、RIBE はエッチ速度が比較的遅いため、生産性については難点がある。

当センターでは函館地域企業と共同で、マイクロ波励起の小型 ECR イオン源による RIBE 装置を試作した。本研究では、この装置を用いて水晶振動子の反応性イオンビームエッチングを行い、水晶

振動子のエッチ速度について検討したので報告する。

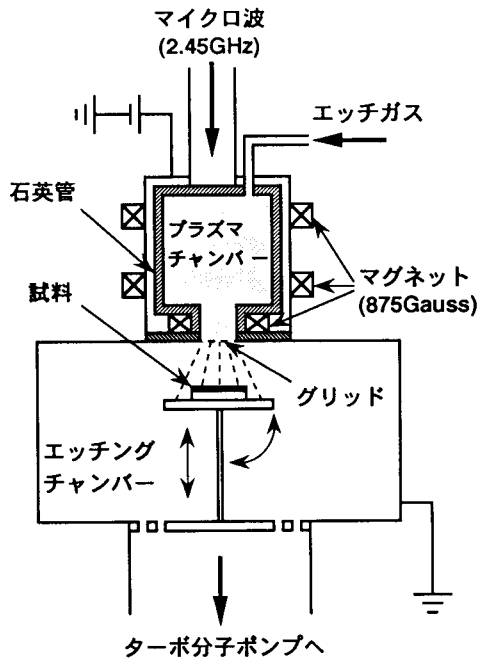


図1 ECR型RIBE装置の概略図

実験に用いたRIBE装置の概略を、図1に示す。エッチングに使用した水晶振動子は、 $\phi 14\text{mm}$ のATカット水晶で、表面は十分にラッピングされたものを用いた。RIBEの反応性ガスには CF_4 と NF_3 を使用し、比較のためにArによるイオンビームエッチング(IBE)も行った。また、水晶と組成が同一の石英ガラス($\text{SiO}_2: 99.99\%$)についても、 CF_4 によるRIBEとArによるIBEを行い、水晶と比較した。エッチ速度は、エッチ深さを触針式表面形状測定器で測定し、エッチ時間で割った値を使用した。

図2にエッチ速度のガス圧依存性を示す。すべてのエッチングにおいて、ガス圧が $2.0 \times 10^{-2}\text{Pa}$ 付近より低圧力側で、エッチ速度はガス圧に従い速くなる。また、エッチ速度の上昇は、Arよりも反応性ガスの方が大きい。 $2.0 \times 10^{-2}\text{Pa}$ 付近より高圧力側では、ガス圧に従い、Arではエッチ速度が遅くなり、反応性ガスではエッチ速度の増加が小さくなる。これらの挙動は、図3に示すイオン電流密度によく対応する。反応性ガスの高圧力側では、圧力にもなうFラジカル等フッ化物のラジカル濃度の上昇により、ケミカルエッチが進行し、イオン電流密度が減少した後もエッチ速度が上昇するものと思われる。また、 CF_4 の水晶と石英のエッチ速度は、高圧側でその差が大きくなるのに対し、Arで

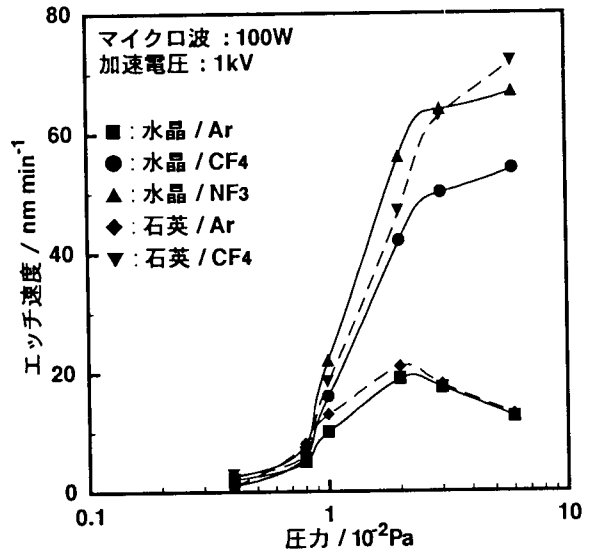


図2 エッチ速度の圧力依存性

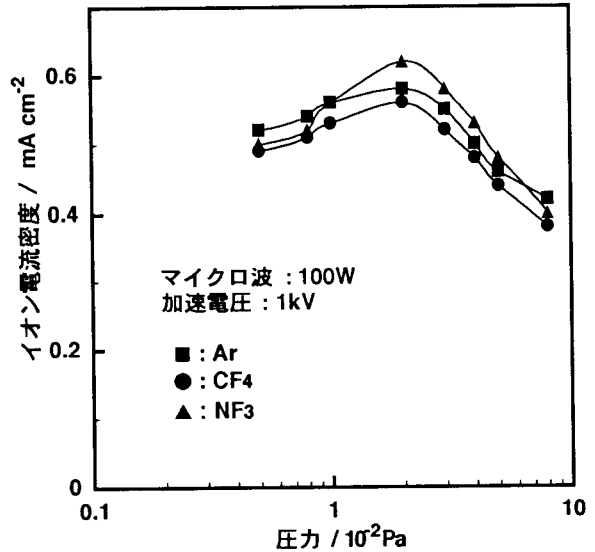


図3 イオン電流密度の圧力依存性

は差がなくなる。図4、図5にエッチ速度の加速電圧依存性と、イオン電流密度の加速電圧依存性を示す。イオン電流密度にエッチ速度がよく対応する。加速電圧0Vでは、 CF_4 よりSi、 SiO_2 に対してエッチ力が強い NF_3 ⁴⁾においても、水晶がほとんどエッチングされないのに対し、石英では CF_4 で数 nm/min のエッチ速度が得られる。また、 CF_4 の水晶と石英のエッチ速度は、加速電圧750Vから1250Vの間、すなわちイオン電流密度が急激に上昇するところで、エッチ速度の差が小さくなる。不活性ガスのArではほとんど差がない。

これらの、ガス圧・加速電圧・イオン電流密度およびガス種とエッチ速度の関係から、水晶は石

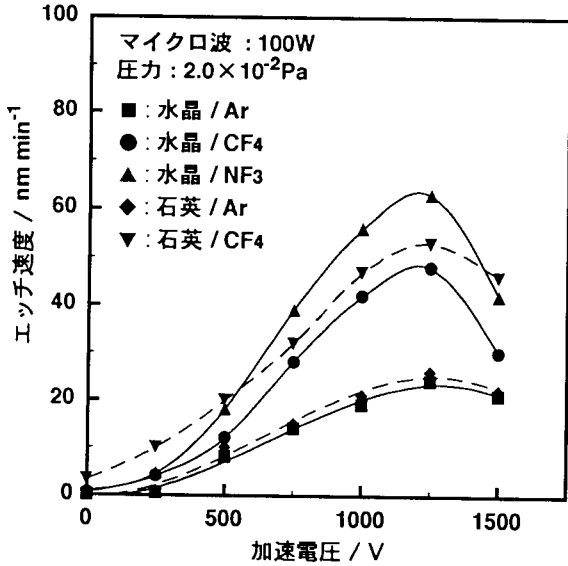


図4 エッチ速度の加速電圧依存性

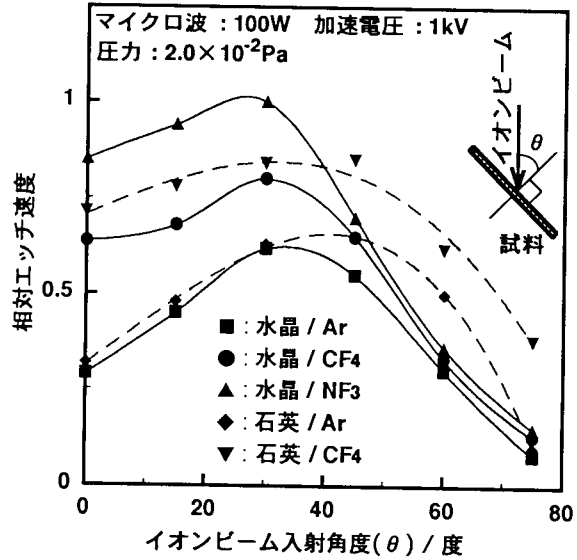


図6 エッチ速度のイオンビーム入射角度(θ)依存性

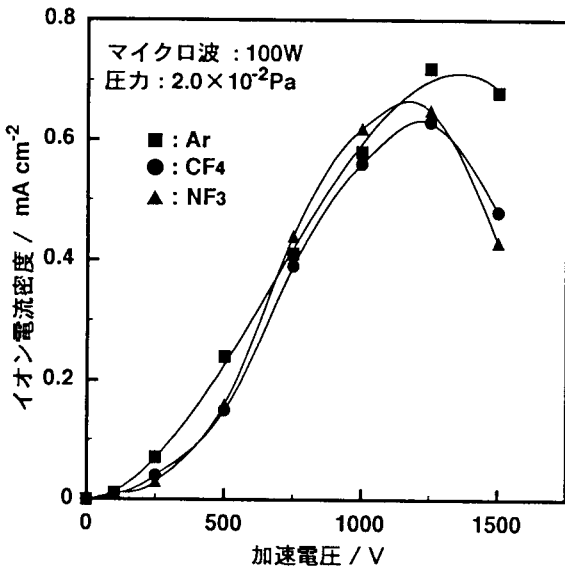


図5 イオン電流密度の加速電圧依存性

英に比べ、高エネルギーのスパッタエッチがともなわなければ、ケミカルエッチされにくいことがわかる。

図6に、エッチ速度のイオンビーム入射角度依存性を示す。ArのIBEが示す相対エッチ速度の変化は、イオンビーム入射角度にともなう、試料のスパッタエッチ効率の変化を表す⁵⁾。スパッタエッチ効率は、水晶で35度付近、石英で45度付近で最大になる。CF₄においても、スパッタエッチ効率のよいところで、水晶と石英のエッチ速度はほぼ同等となる。すなわち、効率の良いスパッタエッチが起こることにより、ケミカルエッチ速度が同等になる。スパッタエッチ速度のイオンビーム入射角度依存性は、イオンの進入深さと後方散乱の二

つの因子から説明される。一般に入射角の浅くなる50度近辺までは、イオンと個体原子の衝突の繰り返し(カスケード)が表面で起こり、スパッタ効率が上がり、それ以上の角度では後方散乱が多くなり効率が下がる⁵⁾。このことから、水晶と石英のイオンビーム入射角度によるスパッタエッチ速度の違いは、カスケード効果の違い、すなわち両者の結晶構造の違いから生ずるものと思われる。さらに、この結晶構造の違いが、両者のフッ化物ラジカルから受ける侵食作用の差となり、ケミカルエッチ速度の差となって現れると推測される。また、加速エネルギーの高いスパッタエッチングにより、水晶のケミカルエッチが促進されるのは、スパッタエッチによる水晶表面の結晶欠陥の増加が考えられる。

図7にNF₃でエッチングした水晶振動子の表面形状、写真1にNF₃でエッチングした水晶振動子のSEM観察結果を示す。エッチ面は、エッチングによる荒れもなく、基板面と同程度のなめらかさを保持しているのがわかる。

以上の結果から、水晶振動子(ATカット水晶)の反応性イオンビームエッチングについて、次の様にまとめることができる。

- (1) ATカット水晶は石英に比べケミカルエッチされにくい。
- (2) ATカット水晶と石英のエッチ速度の違いは、両者の結晶構造の違いから生ずる。
- (3) ATカット水晶は、750V以上の比較的高い加速

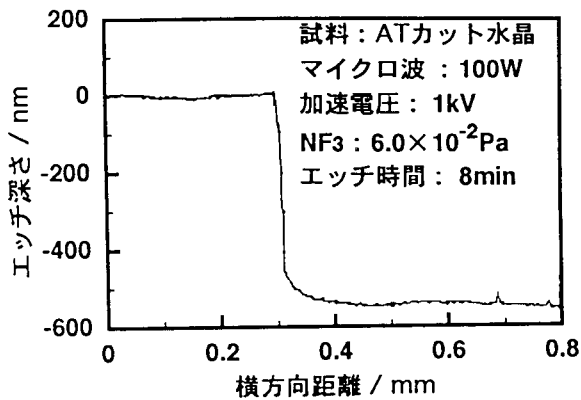
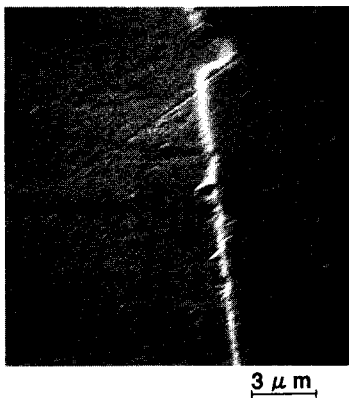


図7 水晶振動子のエッチ深さと表面形状



マイクロ波：100W
 加速電圧：1kV
 NF₃：6.0×10⁻²Pa
 エッチ時間：8min

写真1 水晶振動子のエッチ面のSEM観察結果

エネルギーによる、効率の良いスパッタエッチがともなえば、ケミカルエッチ速度も早くなり、石英と同等のエッチ速度が得られる。

- (4) 水晶振動子のNF₃による反応性イオンビームエッチングにおいて、圧力：6.0×10⁻²Pa, 加速電圧：1kVで、67nm/minのエッチ速度が得られ、エッチ面もなめらかであった。

参考文献

- 1) P. Danesh and B. G. Pantchev; Thin Solid Films, Vol. 88, No. 4(1982), P347-352.
- 2) P. Danesh and B. G. Pantchev; Thin Solid Films, Vol. 82, No. 1(1981), L117-119.
- 3) E. Spangenberg, K. Popova and V. Orlinov; Vacuum, Vol. 39, No. 5(1989), P453-461.
- 4) K. Tsuneto, S. Nakayama, A. Kawamura, A. Tasaka, T. Ohasi and I. Taniguchi; The Science and Engineering Review of Doshisha University, Vol. 24, No. 4(1984), P252-261.
- 5) (株)アルバック・コーポレートセンター; 真空ハンドブック改訂版, 第3版(1989), P242