

話題

スパッタエッチングレートデータベース (SERD) プロジェクト報告

表面分析研究会 SERD プロジェクトグループ*

serd@sasj.gr.jp

(2001年1月25日 受付)

AES や XPS、SIMS を用いた深さ方向分析ではスパッタ時間をスパッタ深さに換算するためにスパッタエッチングレートのデータが必要である。表面分析研究会では1999年より実用材料のエッチングレートを SiO₂ のレートに対する比として収集するための活動を行っている。この活動内容と現状について報告する。

Report on Sputter Etching Rate Database (SERD) Project of SASJ

SERD project group of SASJ*

serd@sasj.gr.jp

(Received: January 25, 2001)

The Sputter Etching Rate Database (SERD) project in the Surface Analysis Society of Japan (SASJ) was established in 1999 in order to accumulate the ion sputter-etching rates of compounds, alloys and other practical materials including insulators as the ratio to the etching rate of SiO₂ thermally oxidized film for the practical depth profiling. In the present report, results of the activity of SERD are introduced.

1. はじめに

AES や XPS、SIMS を用いた深さ方向分析ではスパッタ時間をスパッタ深さに換算するためにスパッタエッチングレートのデータが必要である。表面分析研究会では1999年より実用材料のエッチングレートを SiO₂ のレートに対する比として収集するための活動を行っている。この活動内容と現状について報告する。

2. なぜエッチングレート比なのか

スパッタエッチングレート $R(E)$ とスパッタ収率 $Y(E)$ との間には

$$R(E) = \frac{Y(E)}{N} \cdot \frac{j_p}{e} \quad (1)$$

の関係がある。ここで E はイオンビームエネルギー、 N は原子密度、 j_p はイオンビーム電流密度、 e はイオンの電荷である。従ってエッチングレートよりもスパッタ

収率の方がより基本的な物理量といえる。単元素固体のスパッタ収率については従来よりデータが収集されデータベースとして公開されており、これを基にして導かれた実験式もあわせて報告されている[1]。これはイオンビーム垂直入射の場合であるが、試料法線方向から測ったイオン入射角が θ のとき、

$$\frac{Y(E, \theta)}{Y(E, 0)} = \cos^{-f} \theta \quad (2)$$

となる。 f は1と2の間の値を取るが、この計算方法については上の実験式の解説も含めて参考文献[2]に詳しく説明されているのでご参照頂きたい。また参考文献[1]の実験式に基づいて作製されたJavaアプレットが次のURLで公開されており、原子番号1から92までの単元素固体に原子番号1から92までのイオンを垂直入射した場合のスパッタ収率をWeb上で読み

*Corresponding Author : Masahiko INOUE

Department of Electric Engineering, Setsunan University, Ikedanakamachi 17-8, Neyagawa, Osaka 572-8508, Japan

取ることができる。計算できるエネルギー領域は 50eV から 50keV までとなっている。(<http://www.ss.teen.setsunan.ac.jp/e-sy.html>)

このように、ほとんどの単元素固体に関してはスパッタ収率のデータがまとめられているが、多元素材料についてはいまだにデータは充分ではない。この理由は多元素材料では選択スパッタなど非常に複雑な現象が生じるためであると思われる。しかしながらそのような場合でも一度スパッタリング定常状態になればスパッタ収率は一定の値になるはずであり、またスパッタ初期より定常状態へ入るまでの遷移領域の厚みは大抵の場合、深さ分解能と同程度かそれより小さい。従って実際の深さ方向分析においては定常状態でのスパッタ収率がわかれば良いと思われる。

ところでスパッタ収率を実測するにはまずイオンビーム電流密度でノーマライズしたエッチングレートの絶対値を測定し、原子密度をかけて収率に換算する。逆に実際のデータ解析においてはスパッタ収率を使用した電流密度でのエッチングレートに換算しなければならない。いずれの場合も試料の原子密度とイオンビーム電流密度のデータが必要となる。つまり仮に正確なスパッタ収率のデータがあったとしてもビーム電流密度を正確に測定できなければ正確なスパッタ深さへの換算はできないのである。

イオンビーム電流密度測定の難しさについては日本鉄鋼協会共同研究会で行われた金属材料のスパッタ収率測定実験に関する報告[3, 4]が参考になる。これによると最初に行われた共同実験では各所の測定値がかなり異なってしまう、その主要因はイオンビーム電流の測定にあったとされている。このため次の共同実験では正確にビーム電流を測定するための共通のファラデーカップが準備され、さらにイオン入射孔の側壁面によるイオンの散乱効果を考慮した透過率の補正を行うことにより、正確に電流密度およびスパッタ収率を測定できたと報告されている。

実際に市販されている AES や XPS などの

表面分析装置では、イオンビーム電流を測定できないものもあり、またファラデーカップの付属している装置であってもその構造は装置によって様々であるため上記のような精密な測定がどの程度まで可能なか不明である。さらにイオンビームに含まれている中性粒子の割合はイオン銃の構造や放電条件で異なり、ビーム電流が必ずしも正確に入射粒子数を反映しているとは限らないであろう。このような実状を考慮すると、分析の現場においては、できればイオンビーム電流を測定せずにエッチングレートを求められる方法が望まれる。

従来分析の現場においては SiO_2 換算深さがよく用いられてきた。これは試料の深さ方向分析をする際に同一のイオンビームスパッタ条件で膜厚既知の SiO_2/Si 標準試料の深さ方向分析を行ってエッチングレートを算出し、参考データとして添付するという方法である。この場合、試料と SiO_2 のエッチングレートの比率がわかれば試料のエッチングレートがすぐに求められ、非常に簡単かつ便利である。そこで表面分析研究会 SERD プロジェクトでは SiO_2 のレートに対する比を収集し、データベース化することを目指しているのである。

3. エッチングレート比のメリット

上に述べたように SERD プロジェクトで収集したデータを利用するにはイオンビーム電流を直接実測する必要はない。ただし試料測定と同一のスパッタ条件で SiO_2 のエッチングレートを測定する必要があり、これがビーム電流密度の測定に対応しているのである。エッチングレート比を利用するとビーム電流密度の直接測定が不要であることに加えてエネルギー依存性や入射角依存性がかなり緩和されるというメリットが生じる。

3.1 入射イオンエネルギー依存性の緩和

Sigmund の理論[5]によるとスパッタ収率の入射イオンエネルギー依存性は入射

イオンの試料中における核的阻止能断面積 $S_n(E)$ のエネルギー依存性によっておおよそ決定される。

$$Y(E) \propto \frac{S_n(E)}{U_s}, \quad (3)$$

ここで U_s は試料の表面結合エネルギーである。従ってエッチングレートエネルギー依存性も $S_n(E)$ に比例することになる。このエネルギー依存性を見積もるためにここでは Biersack の解析式[6]を用いた。

$$S_n(E) = 4\pi a_{TF} \cdot \frac{M_1}{M_1 + M_2} \cdot Z_1 Z_2 e^2 \times \frac{\ln \varepsilon}{\varepsilon(1 - \varepsilon^{-1.49})}, \quad (4)$$

ここで ε は換算エネルギーで

$$\varepsilon = E \cdot \frac{a_{TF}}{Z_1 Z_2 e^2} \cdot \frac{M_2}{M_1 + M_2}, \quad (5)$$

a_{TF} は Thomas-Fermi スクリーニング半径で

$$a_{TF} = \frac{0.0853 \cdot a_B}{(Z_1^{2/3} + Z_2^{2/3})^{1/2}}, \quad (6)$$

$$a_B = 0.529 \times 10^{-8} \text{ [cm]},$$

a_B はボーア半径、 M は原子の質量、 Z は原子番号で、添え字の 1 と 2 はそれぞれ入射粒子と標的原子を表している。化合物に対してはいわゆるブラッグ則を適用すると、例えば $A_x B_{1-x}$ という化合物に対して

は核的阻止能断面積 $S_n_{-A_x B_{1-x}}$ は近似的に次式で計算できる。

$$S_n_{-A_x B_{1-x}} = x \cdot S_n_{-A} + (1-x) \cdot S_n_{-B}, \quad (7)$$

ここで x は組成比、 S_n_{-A} と S_n_{-B} はそれぞれ元素 A と B の単体の阻止能断面積である。Fig.1(a) に GaAs と SiO_2 に対する計算値を示す。横軸は入射イオンエネルギーである。実際の分析でよく使用されるエネルギー領域においては多くの物質でこのエネルギー依存性はよく似ており、そのため比をとることによって曲線が水平線に近づくことが予想される。Fig.1(b) に $S_n_{-GaAs}/S_n_{-SiO_2}$ の計算値と実際に測定した R_{-GaAs}/R_{-SiO_2} のデータをあわせて示す。イオン種は Ar^+ で入射角は試料法線より 59 度である。エッチングレート比は核的阻止能断面積の計算値の比から予想されるようにほとんどエネルギー依存性をもたないことがわかる。これはデータベースを実際に活用する際には大変重要なことで、例えば Fig.1(b) では 4keV における測定値が存在しないが、この場合は 3keV の値を用いてもほとんど問題ないことがわかる。つまりデータベースの適用範囲(予想可能範囲)が広がっている。このようにエネルギー依存性が弱められることは実用上、大きなメリットとなるのである。

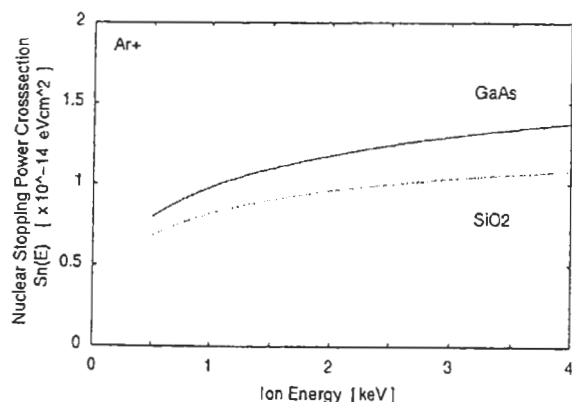


Fig.1(a) The energy dependence of nuclear stopping power cross-sections for GaAs and SiO_2 calculated by employing Biersack's analytical formula.

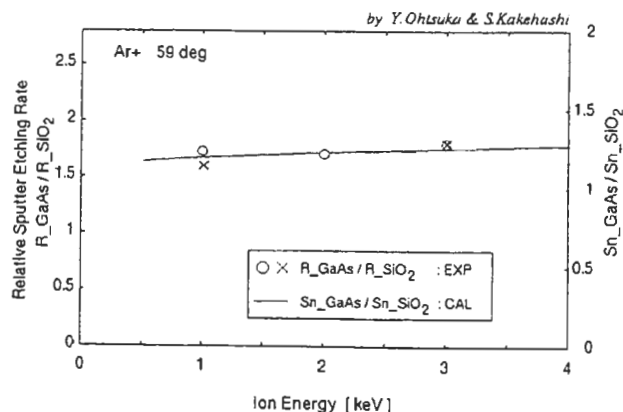


Fig.1(b) The energy dependence of the measured relative etching rate R_{-GaAs}/R_{-SiO_2} in comparison with the ratio of calculated nuclear stopping power cross-sections $S_n_{-GaAs}/S_n_{-SiO_2}$. Incident ion species is Ar^+ , incident angle is 59 deg.

もうひとつの実例を示す。Fig. 2(a)は Si 基板上に堆積させた NiSi₂、CoSi₂、TiSi₂、WSi 多結晶薄膜のスputタリングレートの絶対値である。右上がりのエネルギー依存性を示している。これを SiO₂のレートに対する比に直したものが Fig. 2(b)で、やはりこれも依存性が緩和されていることがわかる。

3.2 イオン入射角度依存性の緩和

角度依存性もエネルギー依存性と同様に緩和されるはずである。Fig. 3 は複数の機関で測定された R_GaAs/R_SiO₂ をイオン入射角θに対してプロットしたものである。式(2)よりレート比の角度依存性

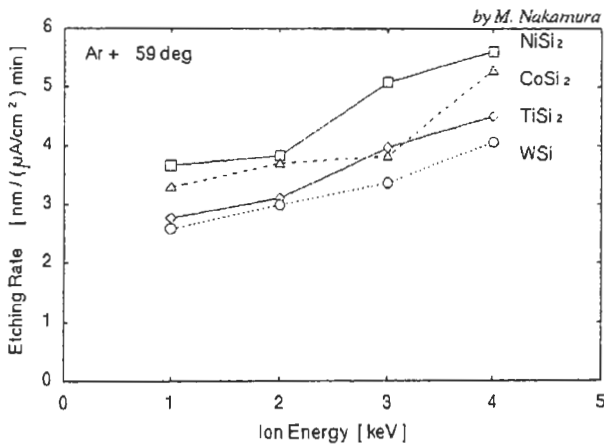


Fig.2(a) The energy dependence of the absolute sputter etching rates of NiSi₂, CoSi₂, TiSi₂ and WSi poly crystal films deposited on Si substrate; incident ion species is Ar⁺ and incident angle is 59 deg.

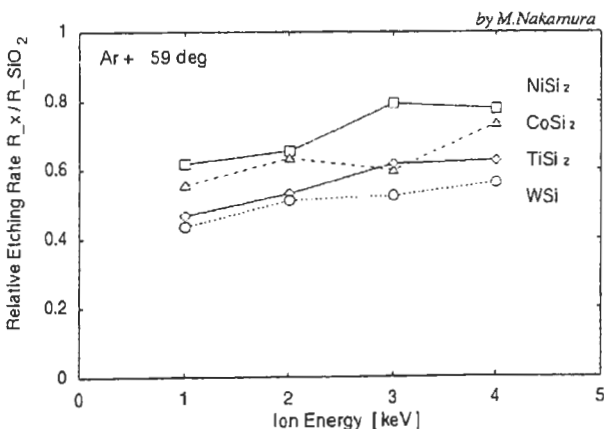


Fig.2(b) The energy dependence of the relative etching rates of NiSi₂, CoSi₂, TiSi₂ and WSi poly crystal films deposited on Si substrate to SiO₂ thermally oxidized film; incident ion species is Ar⁺ and incident angle is 59 deg.

は $A/(\cos\theta)^B$ の形になることが予想されるのでこれに最小自乗フィッティングすると、 $A=2.13$ 、 $B=-0.29$ となった。59° 以外のデータについてはサンプル数が少ないので正確ではないのだが、角度依存性もかなり緩和されていることがわかる。

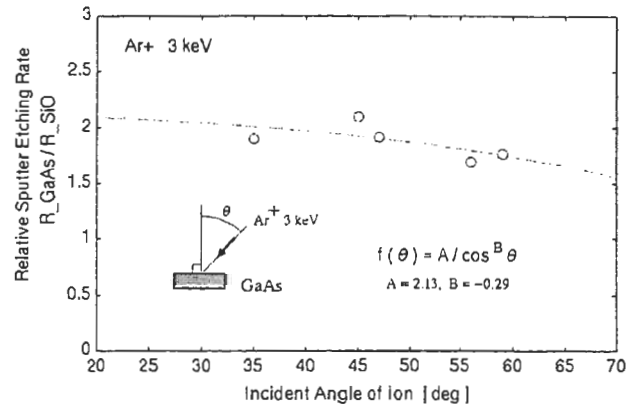


Fig.3 The angular dependence of the relative etching rates of GaAs to SiO₂ thermally oxidized film; incident ion species is Ar⁺ and energy is 3 keV.

4. 実験方法

4.1 メッシュ法

スパッタ深さの測定には鈴木らによって提案されたメッシュ法 [7, 8] を用いる。この方法は試料上にエッチングマスクとして電子顕微鏡用の金属メッシュを置き、メッシュと試料との密着性を良くするために全体をアルミフオイルでくるむ。メッシュにおいてある部分にはアルミフオイルに穴が空いている。ノウハウとして、メッシュの浮きが気になる場合にはメッシュの試料側に伝導性テープを小さく切って貼り付けてから試料にとりつけると良い。また最後にメッシュをのせてアルミフオイルでくるんだ試料表面を別のアルミフオイルで押さえてやると密着性が良くなる。

イオンビームエッチングを行うとこのメッシュのパターンが試料に刻まれるのでその深さを触針計を用いて測定する。クレーターのエッジは極めてシャープであり測定が容易となる。ただし、イオンビームを斜入射するために入射方向にビームの影ができるので、イオンビームをメッ

ユの目の方向に沿うような方位から入射し、それと垂直の方向に触針計を走査するなどの注意が必要である。

また絶縁性の試料ではイオン照射に伴う試料帯電が問題となるが、この方法では金属メッシュとアルミオイルでくるんだためこれも軽減されるというメリットがある。

4.2 イオン入射角について

装置によっては試料傾斜角 (tilt angle) を変えることによりイオン入射角を変化させることができる。この傾斜角 γ とイオン入射角 θ の関係を求めた。プロジェクトメンバーの多くが PHI の装置を使用しているため、以下の議論は PHI の装置を基準にしているが、他の装置にも応用できると思われる。

Fig. 4 のように試料表面に原点をとり、水平面を $x - y$ 平面とし、試料傾斜軸方向に x 軸をとる。また垂直上向きに z 軸をとる。水平面から測ったイオン入射仰角を α 、また x 軸から測ったイオン入射方位角を β とする。試料傾斜角は x 軸のまわりに y 軸から測ることにする。原点よりイオン銃へ向かう単位ベクトルを \vec{i} 、試料法線方向の単位ベクトルを \vec{n} とすると、

$$\vec{i} = (\cos \alpha \cdot \cos \beta, \cos \alpha \cdot \sin \beta, \sin \alpha),$$

$$\vec{n} = (0, \sin \gamma, \cos \gamma)$$

であるから、

$$|\vec{i}| \cdot |\vec{n}| \cdot \cos \theta = \cos \theta \quad (7)$$

$$= \cos \alpha \cdot \sin \beta \cdot \sin \gamma + \sin \alpha \cdot \cos \gamma$$

の関係が得られる。いくつかの装置についてはパラメータがわかっており (Table 1)、(7) 式を使って試料傾斜角 γ からイオン入射角 θ を求めることができる。

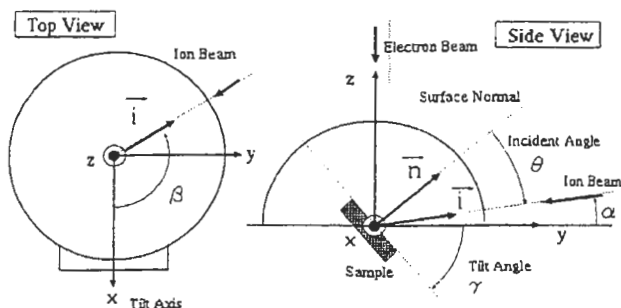


Fig.4 Ion gun setting geometry.

Table 1. Ion gun setting parameters.

Apparatus	α (deg)	β (deg)
PHI-650,660,670	7	123
PHI-680	13	90
Microlab310-F	22.5	138

5. 第一次ラウンドロビン実験

1999年6月の研究会にて一村前会長の提案に基づき共同研究の呼びかけを行った[8,9]。すぐに10数人の方に賛同頂き、WEB サイトと専用メーリングリストを開設し、メールを使った議論が始まった。議論の結果、まずは同じ試料をなるべく同一手順、同一条件で測定し、どの程度のばらつきが生じるのか、またどのような問題が生じるのか調査することとなった。ここで荻原、茂木が中心となって SERD グループ内で議論・検討を進めた結果、まずは統一試料として GaAs (100) を用い、次の手順でラウンドロビン実験を行うこととなった。

5.1 測定手順

イオン銃

通常、各機関で行っている方法でイオン銃を最適な状態に設定する。基本設定条件は次のとおり。ただし、ビームラスター、試料傾斜角は PHI の装置を基準としており、他の装置を使用している場合はこれと異なり、通常よく使用する条件で測定することとした。またファラデーカップが付属している装置ではイオン電流密度も測定す

ることとした。これはファラデーカップで電流を測定し、イオン入射孔面積で割る。

Table 2 Sputtering Conditions

イオン加速電圧	3kV
イオン種	Ar ⁺
ビームラスター	3x3 mm ²
試料傾斜角	30 deg

SiO₂ / Si のエッチングレート

次の二つの方法でエッチングレートを測定することとした。

- (1) 通常のプロファイル測定して SiO₂ の膜厚をプロファイルから読取った界面到達時間で割ってエッチングレートとする。この場合電子線照射位置にくぼみができてエッチングレートに影響を与える可能性があるため、電子ビーム径を広げるか、スキャンするなどして測定する。
- (2) SiO₂ 表面に先述のメッシュを取り付けてスパッタリング（界面に到達する前に止める）を行い、スパッタクレータの深さを段差計で測定し、これをスパッタ時間で割ってエッチングレートとする。

5.2 実験結果

測定結果は茂木により集計され、2000年2月の研究会で議論された。この実験からわかったことは、イオンビーム電流密度の値はかなりばらつき、やはり正確な測定は難しいということと、デプスプロファイルから求めた SiO₂ 膜厚とメッシュ法により段差計で計測した値を比べると段差計で測定した方がわずかながら大きなエッチングレートを示す傾向にあることがわかった。また SiO₂ のエッチングレートに対して GaAs のエッチングレートをプロットすると Fig. 5 に示すように原点を通る直線にのり、少なくともエッチングレート比の電流密度依存性がほとんど無視できることがわかった。なお、最小自乗フィッティングにより、GaAs のエッチングレート比

は 1.69 ± 0.04 （データ点数7点）と求めた。ただし、ここで SiO₂ のレートとして段差計で測定したものを採用しているため、デプスプロファイルで求めたレートを用いるとこの値は若干大きくなる。

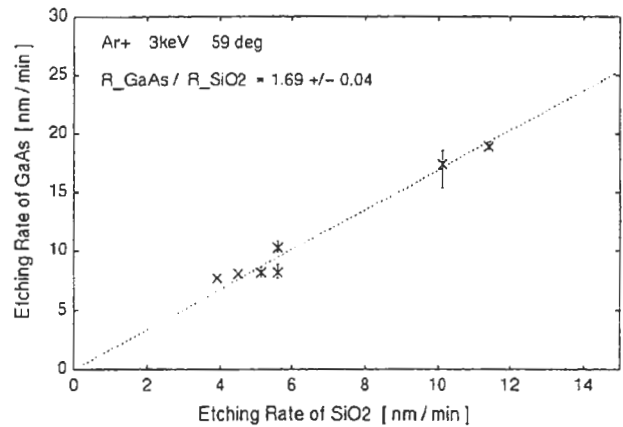


Fig.5 The etching rate of GaAs as a function of the rate of SiO₂; incident ion species is Ar⁺ and incident angle is 59 deg.

6. 第二次ラウンドロビン実験

2000年6月の研究会でさらに参加者が増えた。先の実験でイオン電流密度測定の難しさが再認識され、相対値のみを測定する方針が固まる。レートの比をとると最初に述べたようにイオンのエネルギーや入射角の依存性が緩和されるはずであるのでこれを確認することになった。また絶縁物のエッチングレートへの興味からサファイヤ試料の採用案がでる。

メーリングリストでメンバーに供給可能な試料が検討され、SiO₂、GaAs とサファイヤ（下間提供）をメンバー全員へ、またシリサイド薄膜、In 系半導体が希望者に配布された。また茂木より全員へ GaAs 試料と共にメッシュ法のための穴のあいたアルミ箔と Cu メッシュ、手順書が配布された。前回の手順書と異なる点として、イオンエネルギー3kVに加えてできれば1kVと2kVもあわせて測定することとした。

6.1 電流密度依存性

今回の測定も基本は Ar⁺, 3kV, 59 deg の条件下での GaAs のレート比で、Fig. 5 のデータに新たに測定された点を加えたも

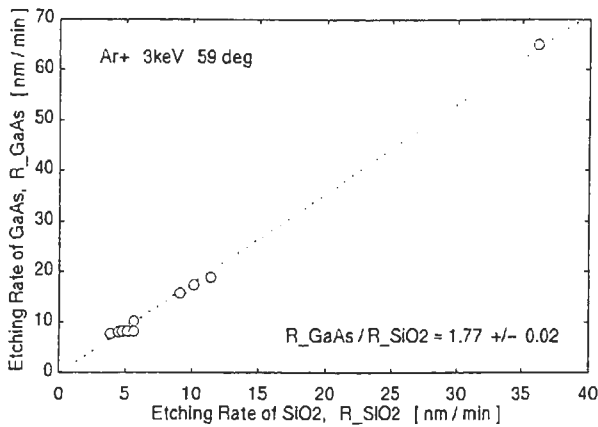


Fig.6(a) The etching rate of GaAs as a function of the rate of SiO₂; incident ion species is Ar⁺ and incident angle is 59 deg.

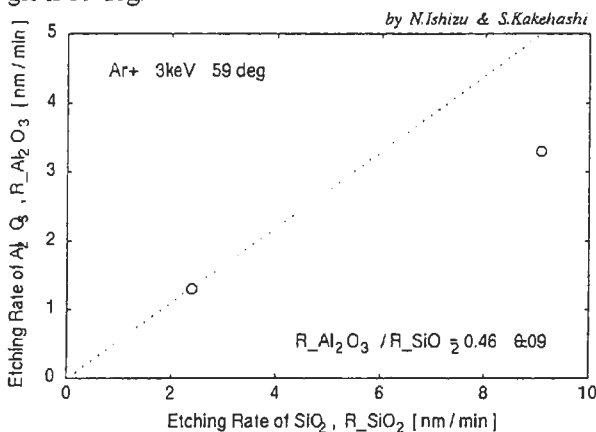


Fig.6(b) The etching rate of sapphire as a function of the rate of SiO₂; incident ion species is Ar⁺ and incident angle is 59 deg.

のを Fig. 6(a) に示す。データ点数は 11 点に増え、原点を通る直線に最小自乗フィットすると GaAs のレート比は先の実験より若干大きくなり、 1.77 ± 0.02 となった。いずれにしても直線性はよく、この領域でもエッチングレート比の電流密度依存性は無視できるようである。比較としてサファイヤのデータを Fig. 6(b) に示す。データ点数が少ないのでなんともいえないが、電流密度の大きいところでレート比が小さくなる傾向がでていようにみえる。試料帯電による効果かもしれない。

6.2 イオン入射角依存性

GaAs 試料についての入射角依存性に関する結果はすでに Fig. 3 に示した。比較としてサファイヤについての同様のプロットを Fig. 7 に示す。これもデータ点数が

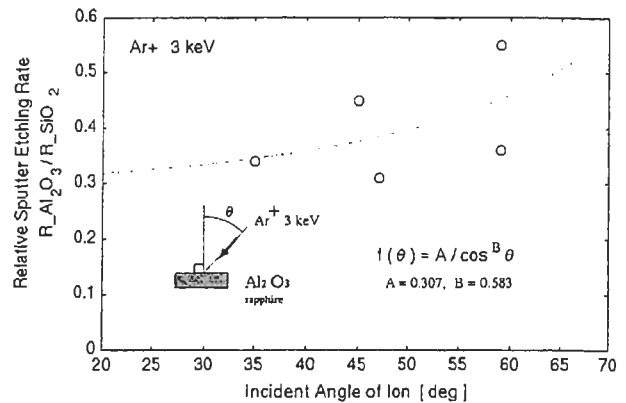


Fig.7 The angular dependence of the relative etching rates of sapphire to SiO₂ thermally oxidized film; incident ion species is Ar⁺ and energy is 3 keV.

少なく、ばらつきが大きいのもっとデータを集める必要があるが、入射角依存性が弱められていることは確認できる。GaAs 試料との大きな違いはパラメータ B が正の値を取っていることである。

6.3 イオンエネルギー依存性

GaAs 試料についてイオン入射角 59deg の時のイオンエネルギー依存性に関する結果はすでに Fig. 1(b) に示した。他の入射角 45deg, 47deg について調べた結果を Fig. 8(a) と Fig. 8(b) に示す。これらについても計算値から予測されるようにエネルギー依存性が弱められていることが確認された。比較のためにサファイヤに関する同様のプロットを Fig. 9 に示す。これもデータ点数が少なく、ばらつきが大きい依存性はほぼ水平となりそうである。

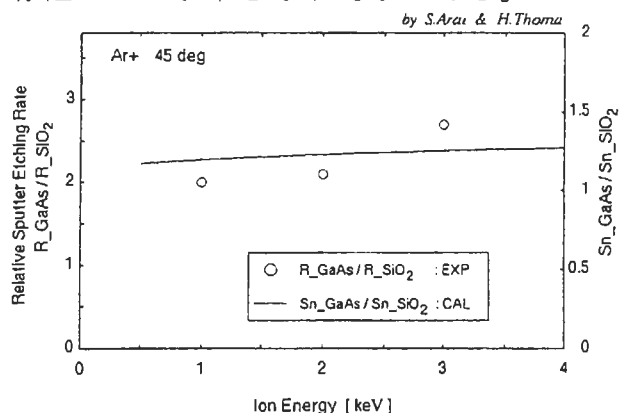


Fig.8(a) The energy dependence of the measured relative etching rate R_{GaAs}/R_{SiO_2} in comparison with the ratio of calculated nuclear stopping power cross-sections Sn_{GaAs}/Sn_{SiO_2} . Incident ion species is Ar⁺, incident angle is 45 deg.

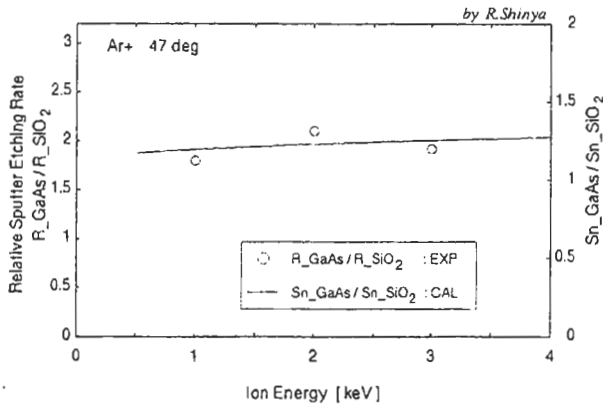


Fig.8(b) The energy dependence of the measured relative etching rate R_{GaAs}/R_{SiO_2} in comparison with the ratio of calculated nuclear stopping power cross-sections Sn_{GaAs}/Sn_{SiO_2} . Incident ion species is Ar^+ , incident angle is 47 deg.

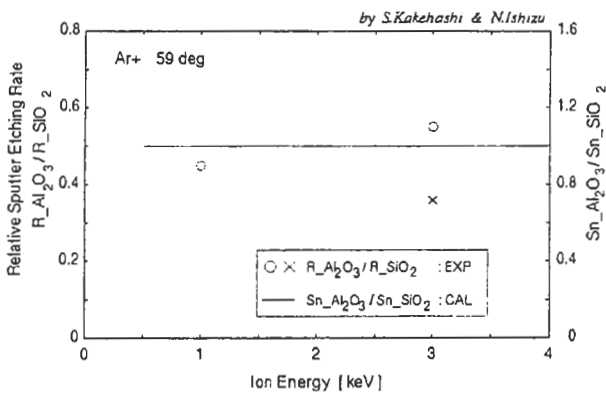


Fig.9 The energy dependence of the measured relative etching rate $R_{sapphire}/R_{SiO_2}$ in comparison with the ratio of calculated nuclear stopping power cross-sections $Sn_{sapphire}/Sn_{SiO_2}$. Incident ion species is Ar^+ , incident angle is 59 deg.

6.4 ユニバーサル曲線の可能性について

化合物や合金、絶縁性試料のエッチングレートは選択スパッタリングや試料帯電効果など様々な複雑な現象によって影響を受ける。もし測定したデータを系統的に整理することができれば色々な試料に適用できるユニバーサルな公式を作ることができるわけだが、上の理由により、これは大変難しいことに思える。そこでひとつの試行として、共有結合性試料に関して測定したエッチングレート比を核的阻止能断面積を共有手一本当たりの結合エネルギーで割ったものに対してプロットして

みた。厳密にはこれをさらに物質の原子密度で割るべきであるが、今回測定した試料の原子密度はほとんど同じなので省略している。核的阻止能の計算には(4) - (7)式を用い、結合エネルギーは Table 3 の値を使用した。結果を Fig.10(a)、(b)、(c)に示す。

これらのデータは測定機種、イオン入射角が異なっているのだが、いずれも強い正の相関関係を示している。サファイヤは帯電による効果が、また In 系の化合物半導体はスパッタによって試料表面に In ボールが形成されることがよく知られている。それにもかかわらず各データ点はだまかには原点を通る直線上にのっている。つまりエッチングレートはだまかには核的阻止能と結合エネルギーで定まるということを意味している。特に In 系半導体以外の試料については測定条件が異なってもほぼ同じ値を示している。このことは、帯電効果などを補正因子の形で取り入れることによってユニバーサルな公式を作ることができるという可能性を示しているようにも思われる。もちろん、そのためには系統的なデータの蓄積が必要となるのである。

Table 3 Single bond energies.

Configuration	Bond energy [eV/bond]
Al-O	5.15 [10]
Ga-As	1.63 [11]
In-Sb	1.40 [12]
In-P	1.74 [12]
In-As	1.55 [12]
Co-Si	2.86 [13]
Ni-Si	3.30 [13]
Si-O	4.67 [14]

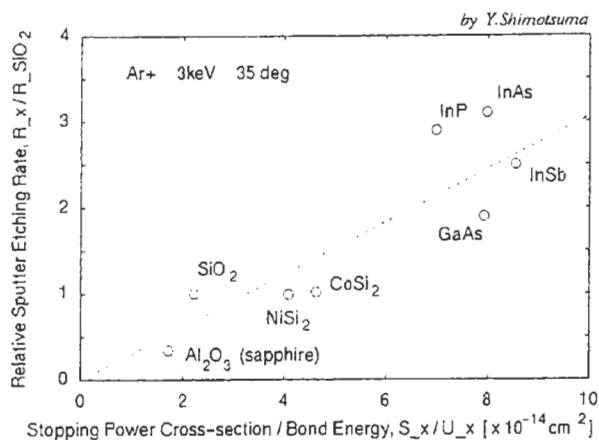


Fig.10(a) The relative sputter-etching rate vs the stopping power cross-section divided by the single bond energy; incident ion species is Ar⁺ and incident angle is 35 deg.

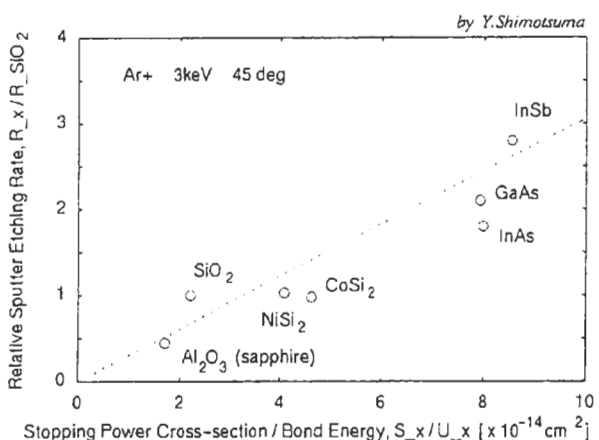


Fig.10(b) The relative sputter-etching rate vs the stopping power cross-section divided by the single bond energy; incident ion species is Ar⁺ and incident angle is 45 deg.

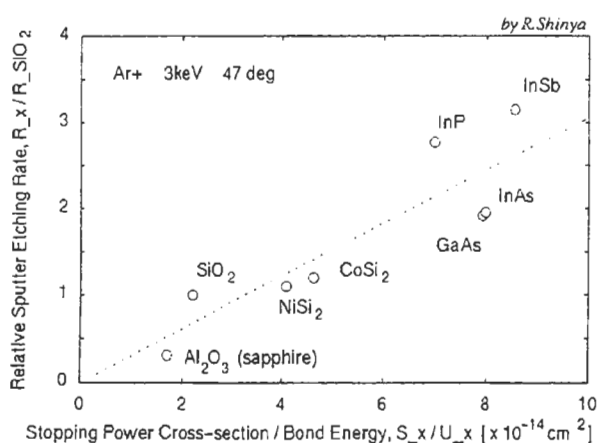


Fig.10(c) The relative sputter-etching rate vs the stopping power cross-section divided by the single bond energy; incident ion species is Ar⁺ and incident angle is 47 deg.

7. おわりに

SERD プロジェクトの活動状況について活動の始まりから現在までの流れを紹介した。最後に今後問題になりそうな事柄について述べておきたい。

まず第1に、この計画で基準としている SiO₂ のエッチングレートである。実際のデータベース利用時にはデプスプロファイルから求める方が便利と思われるが、そうすると電子ビームによる酸素脱離の影響は避けられない。経験的には電子ビーム径を広げたりビームを走査するなどして電子ビーム電流密度を低くすると良いことが知られている。恐らく電子ビームにより影響を受ける試料厚み/時間より充分大きなレートでイオンスパッタすれば良いのだと思われるが、このあたりを定量的に調べて具体的な測定基準を設ける必要があるだろう。

これまでの測定結果からみるとデプスプロファイルから求めた値よりも段差計で測定した値の方がばらつきが少ないようである。ただし、深さ分解能に対してクレータ深さを充分大きくする(長時間スパッタする)必要がある。このことはエッチングレートの小さな試料の場合に特に問題となる。例えば今回のデータで GaAs のデータに比べて Al₂O₃ のデータが比較的ばらついていてるのは、もちろんデータ数が少ないことや帯電の効果が大きいのだろうが、上記のことも関係しているように思われる。つまり、エッチングレートが小さいために限られた測定時間内では充分な深さが得られていなかったのではないだろうか。このことについても測定基準を設ける必要があるかもしれない。

データベースはある程度データ数がそろわないと利用できないものである。広くデータ収集するために(あるいは公開のために)専用 Web サイトを立ち上げることが有効と思われるが、その入力インターフェースを設計する為、まずはこれまでの基礎データを基にしてデータ収集方針を決めることが目下の課題であろう。

参考文献

- [1] e.g. Matsunami et al., Atomic Data and Nuclear Data **31**(1984) 1 - 80.
- [2] 藤本文範、小牧研一郎 「イオンビーム工学」イオン・固体相互作用編、内田老鶴圃(1995).
- [3] 大坪孝至、広川吉之助、福田安生、大橋善治、薄木智亮、源内規夫、石田英明、吉田鎮雄、関本靖裕、鈴木堅一、鉄と鋼 **73**(1987)27.
- [4] 鈴木敏子、広川吉之助、福田安夫、鈴木堅一、橋本哲、薄木智亮、源内規夫、吉田鎮男、甲田満、瀬崎博史、堀江浩、田中彰博、大坪孝至、鉄と鋼 **77**(1991)103.
- [5] P.Sigmund, Phys. Rev. **184**(1969)383.
- [6] J.Biersack, Z. Phys. **211**(1968)495.
- [7] M.Suzuki, K.Mogi and H.Ando, Abstracts of PSA-98 (1998) P-90.
- [8] K.Mogi and M.Suzuki, J. Surf. Anal. **6**(1999)23.
- [9] M.Inoue, J. Surf. Anal. **6**(1999)228.
- [10] I.P.Batra, J. Electron Spectrosc. & Relat. Phenom. **33**(1984)175.
- [11] W.Mönch, Surf. Sci. **168**(1986)577.
- [12] W.A.Harrison, *Electronic Structure and the Properties of Solids -The Physics of the Chemical Bonds-* (Freeman, SF, 1980)
- [13] *CRC HANDBOOK of CHEMISTRY and PHYSICS 79th edition*, ed.-in-chief D.R.Lide, 1998-1999.
- [14] J.Emsley, *THE ELEMENTS 2nd edition* (Clarendon press, Oxford, 1994).

SERD プロジェクトメンバーリスト

(2001年1月現在。ABC順)

阿部芳巳 : シーエーシーズ
荒木祥和 : 日産アーク
石津範子 : 松下テクノロジーサーチ
井上雅彦 : 撰南大学
大塚芳郎 : 日本真空
荻原俊弥 : ジャパンエナジー
梯伸一郎 : 三菱マテリアル
児島淳子 : 松下テクノロジーサーチ
佐藤和彦 : 帝人
下間靖彦 : 京セラ
新谷龍二 : 住友金属テクノロジー
當麻 肇 : 日産アーク
中村 誠 : 富士通分析ラボ
茂木カデナ : NTT-AT
森 行正 : 日本ガイシ
柳内克昭 : TDK
山内ひろ美 : シーエーシーズ

Errata

JSA Vol.8 No.1 p.76-85

「SERD プロジェクト報告」にて、以下の誤りがありました。訂正と共に深くお詫び申し上げます。なお、実際の計算に用いましたプログラムでは正しい式を使用しており、グラフ等の結果には間違いはありません。誤りをご指摘いただきました小林（日本ガイシ）様に深く感謝いたします。

摂南大学 井上雅彦

(1) Vol.8 No.1, p.78 (4)式

(誤)

$$S_n(E) = 4\pi a_{TF} \cdot \frac{M_1}{M_1 + M_2} \cdot Z_1 Z_2 e^2 \times \frac{\ln \varepsilon}{\varepsilon(1 - \varepsilon^{-1.49})}, \quad (4)$$

(正)

$$S_n(E) = 4\pi a_{TF} \cdot \frac{M_1}{M_1 + M_2} \cdot Z_1 Z_2 e^2 \times \frac{\ln \varepsilon}{2\varepsilon(1 - \varepsilon^{-1.49})}, \quad (4)$$

(2) Vol.8 No.1, p.78 (6)式

(誤)

$$a_{TF} = \frac{0.0853 \cdot a_B}{(Z_1^{2/3} + Z_2^{2/3})^{1/2}}, \quad (6)$$

(正)

$$a_{TF} = \frac{0.08853 \cdot a_B}{(Z_1^{2/3} + Z_2^{2/3})^{1/2}}, \quad (6)$$