

[H30-4]

C₆₀ イオンビームによる微細加工技術開発 Development of micro processing technology by C₆₀ ion beam

国部利寿^{#,A)}, 竹内浩^{A)}, 荒井秀幸^{A)}, 橋本秀宏^{A)}, 鳴海一雅^{B)}, 斎藤勇一^{B)},
千葉敦也^{B)}, 山田圭介^{B)}, 平野貴美^{B)}

Toshiju Kunibe^{#,A)}, Hiroshi Takeuchi^{A)}, Hideyuki Arai^{A)}, Hidehiro Hashimoto^{A)},
Kazumasa Narumi^{B)}, Yuichi Saitoh^{B)}, Atsuya Chiba^{B)}, Keisuke Yamada^{B)}, Yoshimi Hirano^{B)}

^{A)} Metal technology Co.Ltd

^{B)} National Institutes for Quantum and Radiological Science and Technology

Abstract

The diamond substrate was vertically irradiated with 60 keV C₆₀ ions to obtain a large value of about 100 atoms/C₆₀ ions. The dependence of the sputtering rate on the beam irradiation angle was investigated. Sputtering rates at 45 and 60 degrees were about double that of vertical irradiation. Moreover, the double sputtering rate was obtained by simultaneous irradiation with oxygen ions. An attempt was made to smooth the polycrystalline diamond by oblique irradiation. No meaningful result of surface roughness before and after irradiation was obtained. We examined the cause.

Keyword: C₆₀ ions, etching

1. はじめに

プラズマ CVD 法によって合成されたダイヤモンド表面は通常数 μm 程度の凹凸を有するので^[1], 宝石や工具をはじめとして、ダイヤモンド試料の研磨はダイヤモンド砥粒を埋め込んだ鋳物製回転盤を利用した共擦り研磨法(スカイフ研磨法)が一般的に使用されている。しかしヒートシンク、光学窓、半導体基板への応用には比較的広い面積の平滑化が必要であるが、研磨盤の磨耗や基板試料へのスクラッチによって容易ではなく切削工具以外の応用は少ない。

宮本等^[2]は ECR イオン源を用いて、Ar および酸素イオンビームによるダイヤモンドのスパッタ率やその角度依存性を調べた。しかし Ar イオンのスパッタ率が小さくビーム電流密度も少ないため、加工速度が遅く産業応用には至っていない。鳴海等^[3]は Si 基板に C₆₀ イオンを照射し Ar イオンに比べて最大 600 個程度/C₆₀ のスパッタ率が得られることを示した。

Ar イオンや酸素イオンと同程度のビーム電流を

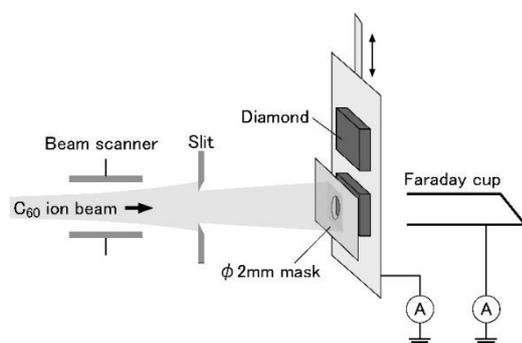


Figure 1. Schematic of C₆₀ ion beam irradiation.

得ることが可能ならばダイヤモンドの高速加工が期待できる。ここでは C₆₀ イオンのダイヤモンドの微細加工への応用を目標に 3 種類の照射試験を実施した。

2. 試験方法

2.1 試験方法(1)

最初の照射試験では、Fig. 1 に示すように TIARA の 400 kV イオン注入装置を使用して C₆₀ イオンを 60 keV に加速して照射を行った。照射サンプルには、トウメイダイヤ(株)製の単結晶ダイヤモンド基板(3 mm×3 mm×厚さ 1 mm、TMD-Ib タイプ)基板を使用した。

照射されたサンプルのエッチング深さは、Zygo 製の NewView 600s を使用した。本装置は、ビーム分布が多少不均一であっても、数 mm² の範囲内で表面の 3 次元形状測定が可能で、ビーム照射によってエッチングされた体積からスパッタ率を得ることが可能である。

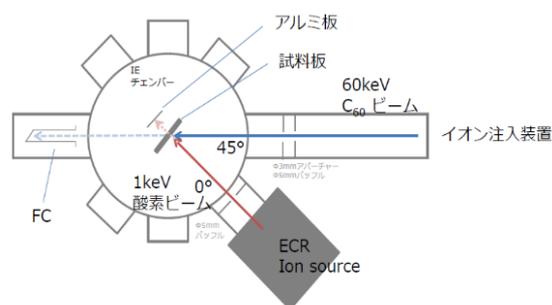


Figure 2. Schematic of simultaneous irradiation of C₆₀ ion (45 ° incidence) and oxygen ions.

[H30-4]

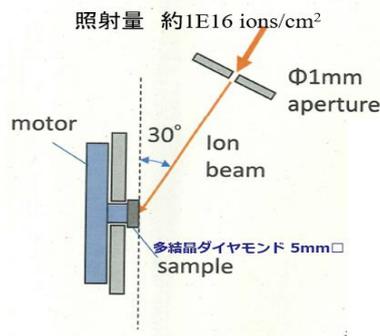


Figure 3. Schematic of the rotating diamond substrate by oblique irradiation of C₆₀ (60° incidence)

2.2 試験方法(2)

物理的なスパッタリングに加えて、酸素の化学反応を利用することにより、エッチング速度が向上することが期待される。そのため、Fig. 2に示すように、照射室に設置された ECR イオン源から酸素イオンビーム(1 keV)を照射しながら C₆₀ イオンビーム照射を行った。

2.3 試験方法(3)

3番目の試験は Fig. 3に示すような配置で凹凸を有する基板を用いて、平滑化の試験を行った。基板への垂直照射よりも、斜め照射はスパッタ率が大きく、凹凸の大きい部分が優先的にエッチングされる。基板面の法線に対して 60度の角度になるようにφ1のマスクを通して、基板を数 rpm で回転させながら照射した。試料は双龍産業(株)製の直流アーク放電方式で製作された、大きさ 5 mm□、厚み 0.5 mm の多結晶ダイヤモンドを用いた。

3. 試験結果

試験方法(1)及び(2)で得られたスパッタ率の角度依存性を Fig. 4に示す。照射角度 45度~60度では垂直照射に比べ約 2倍以上のスパッタ率が得られた。さらに酸素イオン(230 nA)および C₆₀ イオンをそれぞれ単独に 200 分間照射したところ、酸素イオンのエッチング量は C₆₀ イオンの場合の約 1/3 程度であった。C₆₀ イオンを酸素イオンと同時照射した

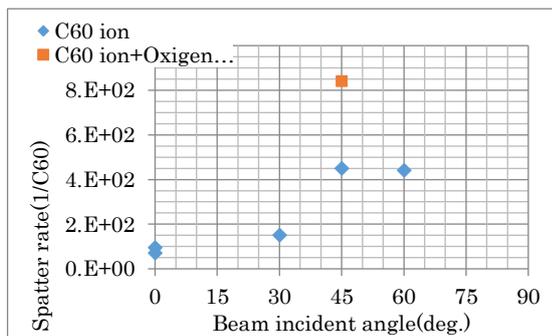


Figure 4. Angular dependence of the sputter rate of C₆₀ ions for single crystal diamond with energy of 60 keV.

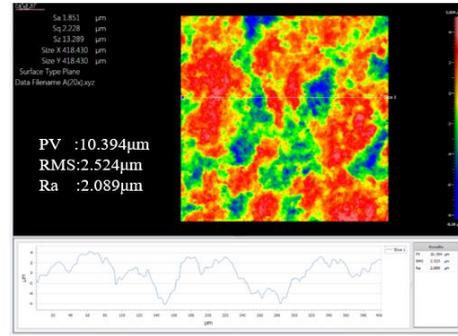


Figure 5a. Surface unevenness before irradiation.

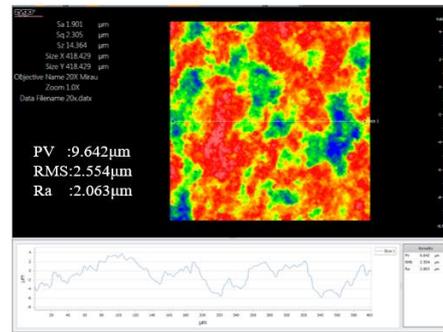


Figure 5b. Surface unevenness after irradiation.

場合 (照射量 $1 \times 10^{16} \text{ cm}^{-2}$) では約 2 倍のスパッタ率が得られた。酸素イオンによる化学的エッチング作用が C₆₀ イオンによって増速されたと推測される。

Figure 5a, 5b に試験方法(3)で得られた、照射前後の表面凹凸の観察結果を示す。両者の比較から有意義な差が観察することができない。

4. まとめ

単結晶ダイヤモンド基板に 60 keV の C₆₀ イオンを照射し、スパッタ率の角度依存性を調べた。照射角度 45度~60度では垂直照射に比べ、約 2倍以上のスパッタ率(約 450/C₆₀ ions) が得られた。また、酸素イオンとの同時照射によって、約 2 倍程度スパッタ率が増加することがわかった。多結晶基板に対する平滑化試験では、照射前後の表面粗さに有意義な差は見られなかった。単結晶ダイヤモンドの場合は $1 \times 10^{16} \text{ cm}^{-2}$ の照射量で、平均的なエッチング深さは Fig. 4 より 0.25 µm であるので、平滑化試験で使用した凹凸の大きな多結晶試料の面粗さ 2.5 µm (RMS) に比べてエッチング深さが少なく、有意義な差が観察できなかったことが考えられる。あるいはダイヤモンドの生成法に起因する可能性も考えられる。

参考文献

[1] 戸倉和, 精密工学会 Vol 78, No38 (2012) 215
 [2] 宮本岩男 他, 砥粒加工学会誌 46 巻 1 号 p25
 [3] 鳴海一雅 他, “3.5 Si 表面に対する 10-100 keV 領域 C₆₀ イオン衝撃効果”, JAEA-Review 2009-066, p55