

[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 ion as compared with the sputtering rate estimated from mono-atomic ions such as Ar.

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、宝石や工具をはじめとしてダイヤモンド試料の研磨には、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は普及していない。

イオンビーム加工は①非接触であるため振動等の影響を受けがたく、精度を得やすい。②ドライプロセスのため、ダイヤモンド吐粒や研磨盤を使用しないため、磨耗するものが無く、メンテナンスが容易で、産業廃棄物の生成が無い。③ビームの滞在時間を制御することにより曲面形状創生が可能、という利点を有する。

これまで多結晶ダイヤモンド膜や単結晶ダイヤモンド基板に ECR イオン源から引き出された Ar イオンや酸素イオンビームを照射し、表面粗さのビーム照射角度依存性[1]や単位時間当たりの加工除去量を調べ、ダイヤモンドナイフやマイクロピッカーズ圧子の製作例[2]を示した研究がある。これらのイオンビームを用いた研究では加工速度が遅く、スカイフ研磨法にとって代わるができなかった。

一方、数 10 keV~100 keV に加速された C₆₀ イオンは Si 基板のスputタ率が C イオンに比べて 700 倍に達することが示された[3]。ダイヤモンドに対しても C₆₀ イオンにより高速加工が期待できることから、C₆₀ イオン照射に対するダイヤモンドのスputタ率の測定を試みた。

2. 試験方法

照射試験は QST 高崎研のイオン照射研究施設 (TIARA) の 400 kV イオン注入装置を用いた。イオン源から 3 kV で引き出された C₆₀ イオンは 90 度偏向の分析マグネットを通過後、加速管で所要のエネルギーまで加速される。照射試験では、60 keV (1 keV/atom) の C₆₀⁺ イオンを用いた。照射試料にはトーマイダイヤ(株)製の単結晶ダイヤモンド基板 (3 mm × 3 mm × 厚み 1 mm、TMD-1b 型) 及び単結晶シリコン基板を使用した。

スputタ率は、ビーム照射による試料のエッチング深さとビーム照射量から求める。スputタ率を正確に得るには、照射領域において強度の均一性が高いビームであること、そしてその照射量を正確に見積もることが必要とされる。しかし、イオン注入装置で加速されたビームは中心付近が強い非一様な強度分布を持つ。そこで、ビームスキャナーで 5~6 mm 程度にビームを振り、均一性のとれた中心付近の領域だけを四極スリットで 3 mm 角に切り取り、更に、正確な照射量を得るために $\phi 2$ mm のマスクを通過した直後のビームをダイヤモンド試料に対して垂直に照射した。照射方法の概略を図 1 に示す。照射中はマスクを通過したビームの電流量を定期的に測定し、ビーム電流の緩やかな変動に対し照射時間を補正して正確な照射量を見積もった。

照射した試料のエッチング深さの測定は、白色光の干渉を利用した顕微鏡タイプの非接触表面形状測定器 (Zygo 社製、New View 600s) を使用した。垂直分解能 0.1 nm、面内は 0.4 μm ピッチの測定が可能である。本装置では数 mm² の範囲で表面の 3 次元形状測定が可能であり、ビームの分布が多少非一様であっても、ビーム照射によってエッチングされた体積からスputタ率を求めることも可能である。

[H30-4]

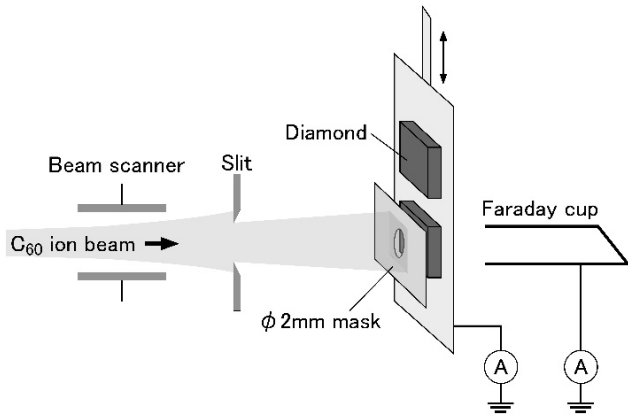


Figure 1. Schematic of C_{60} ion beam irradiation.

3. 結果

照射量 2.5×10^{16} C_{60}/cm^2 で照射したダイヤモンド試料の照射後の写真を図 2 に示す。ビームが照射されたマスク開口部には、周辺部の未照射部と比較して変色が見られた。ビームの照射によって表面が変質したものと考えられる。

エッチング分布の断面形状を図 3 に示す。断面形状の両端に位置する未照射部の高さから、表面形状測定時の傾きを補正した 3 次元形状を図 4 に示す。白色干渉計の分解能に対し、測定領域が非常に広いいためデータ量が膨大となったため、面内に対しては $20 \mu m^2$ の範囲でデータを平均化して 3 次元表示している。ビーム照射によりマスク開口部 $\phi 2 mm$ の領域で試料表面がスパッタされていることが分かる。詳細な評価はこれからだが、照射によって表面が平滑化されているように見える。照射部と未照射部の段差は領域全体でほとんど差がなく $150 nm$ 程度であった。エッチングされた領域の体積は約 $4.2 \times 10^{-4} mm^3$ であり、これからスパッタ率を評価すると、約 $100 atoms/C_{60} ion$ ($1.67 atoms/C$) が得られた。文献[2]より、 $1 keV$ の Ar イオンを照射した場合のスパッタ率は $0.38 atoms/Ar ion$ であり C_{60} イオン照射では大きなスパッタ率が得られることが分かった。

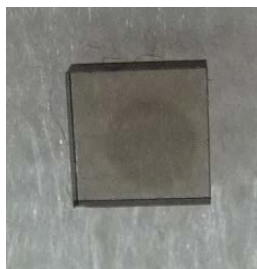


Figure 2. Photograph of diamond substrate after C_{60} ion beam irradiation.

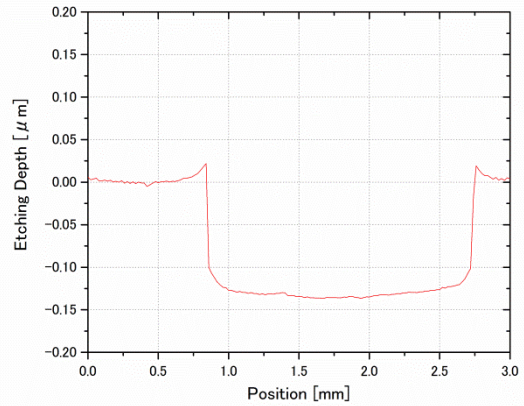


Figure 3. Cross-sectional shape of etching distribution.

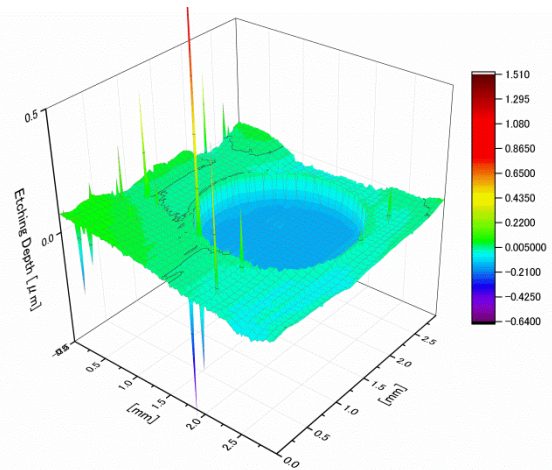


Figure 4. Etching distribution measured with a white light interferometer after a diamond substrate was irradiated with C_{60} ions through a hole slit of $\phi 2 mm$ as a mask.

4. まとめ

$60 keV$ の C_{60} イオンを単結晶ダイヤモンド基板に垂直照射した結果、スパッタ率が約 $100 atoms/C_{60} ion$ の大きな値を得た。

白色干渉計を使用することによりビームの分布が非一様であっても、マスクを通過した電流値およびエッチング体積から正確なスパッタ率の算出が可能である。測定器の測定ピッチは $0.4 \mu m$ と細かいため大きな面積ではデータ量が膨大になるので、適度なマスクを用いることが必要である。

今後、斜め照射によるスパッタ率依存性ならびに雰囲気ガスによる化学的エッチング効果について試験予定である。

[H30-4]

参考文献

- [1] 平田敦 他, 精密工学会誌, 58 卷 (1992) 2 号
p. 289
- [2] 宮本 岩男, 谷口 淳, 砥粒加工学会誌 46(1) (通号
233) 2002-01 p.25
- [3] 鳴海一雅 他, “3.5 Si 表面に対する 10-100keV 領域
C₆₀ イオン衝撃効果”, JAEA-Review 2009-066, p55