

Ar ビーム照射による 6H-SiC 表面の隆起構造の微細化

高知工科大学 ○本多 慶太 ◎百田 佐多生, 十川 恭平

東京理科大学 谷口 淳, 後藤 晃平, 佐藤 尚行

要旨

高硬度・高耐熱の特性を持つ SiC をナノスケールで 3 次元的に加工できれば、将来的に金型などに応用できると期待されている。現在、Ar ビーム照射によって SiC 表面に 140 μm の幅で隆起加工できている。本研究ではより微細な隆起加工のために、レジストでより微細なパターンを形成した SiC 表面に Ar ビーム照射を行った。レジスト除去後の照射表面の形状を測定した結果、隆起構造の微細化を 0.5 μm まで確認した。

1. 緒言

イオンビームを結晶材料に対して照射することによって様々な照射効果が表れることが知られている。代表的な効果に表面付着、スパッタリング、イオン注入の 3 つがあり、工業的に利用が進んでいる。これらとは別に、結晶表面の隆起現象が確認されている。隆起は、材料内に照射されたイオンが格子原子と衝突を繰り返して原子配列を乱し、アモルファス化が起き、原子間距離が長くなることで、体積が膨張し発生すると考えられている[1]。SiC 結晶もこの隆起現象が確認されている材料の 1 つである[2]。SiC 結晶は高硬度・高耐熱、優れた電気的特性を持つ結晶であり、これらの特性より過酷な状況下でも使用に適していると言える[3]。また将来的にナノ・マイクロオーダーの金型として間接的に微細な構造体の大量生産や、局所的にナノ・マイクロオーダーで加工した 3 次元構造体としてナノマシンなどへの応用が期待できる。

先行研究では 6H-SiC に対して Ar ビーム照射を行い、SiC 上ステンシルマスクのスリット幅 140 μm に対応する隆起を加工できた。そして、照射量・飛程による隆起高さの制御ができた[4][5]。本研究では隆起構造をより微細化するために、6H-SiC 表面により微細なパターンを持つレジストを形成して Ar ビーム照射を行った。

なお、本稿の内容のうち、登壇者は 6H-SiC の切り出しとエッチング処理、Ar イオンビーム照射の実施及び測定結果の解析を担当した。

2. 手法・手順

2.1. サンプル作成

まず、6H-SiC 結晶を 1cm 角に切り出し、濃度 80% の BHF 溶液でエッチングを行い酸化膜を取り除いた。次に、6H-SiC 表面に電子線リソグラフィを用いて 100 μm , 50 μm , 10 μm , 5 μm , 1 μm , 0.5 μm のスリット幅を持つレジストのパターン形成を行った。レジストの平均膜厚は、2082nm で、次に照射をした Ar ビームの飛程よりも十分厚い。

2.2. Ar イオンビーム照射

多価イオンビーム照射装置によって生成した Ar ビームをレジストパ

ターンを形成した 6H-SiC 表面に対し、X-Z 軸テーブル[5]を用いて 5 \times 5 mm² の領域に照射した[6][7]。計 4 つのサンプルに対して、先行研究と一致するような Table.1 に示す条件で照射を行った。

サンプル名	A	B	C	D
価数	1+		7+	
エネルギー(keV)	100		700	
照射量(10 ¹⁵ /cm ²)	3	5	3	5

Table.1 照射条件 [4]に合わせた。

2.3. レジスト除去・段差測定

Ar ビームを照射したサンプルからレジストの除去を行った後、 α ステップ段差計と AFM より隆起高さを測定した。まず、レジストの除去のため、アセトンに浸けた状態での超音波洗浄と、BHF 溶液によるエッチングを行ったが、レジストがサンプル表面に残存した。そこで、さらにアッシングも行くと、残存したレジストは除去された。

α ステップ段差計は 100 μm , 50 μm , 10 μm のスリット幅について、AFM は 5 μm , 1 μm , 0.5 μm のスリット幅について隆起高さを測定した。

3. 結果

2.3.で測定された SiC 表面の断面図の例を Fig.1 と Fig.2 に示す。サンプル A では 100~1 μm のスリット幅で、サンプル B では 50~0.5 μm のスリット幅において隆起を確認することができた。これより、先行研究[4]では 140 μm のスリット幅で隆起したのに対して、本研究では最小 0.5 μm の幅での隆起を確認することができ、隆起の幅を約 1/300 にすることができた。

サンプル C と D は、アセトンによる表面レジストの超音波洗浄ではレジストを除去できず、隆起を確認することができなかった。これは、サンプル A と B に対し 7 倍のエネルギーの Ar ビームを照射したため、イオンビーム照射の影響による変質(エッチングに対する耐性が増した)が生じたためと考えられる。

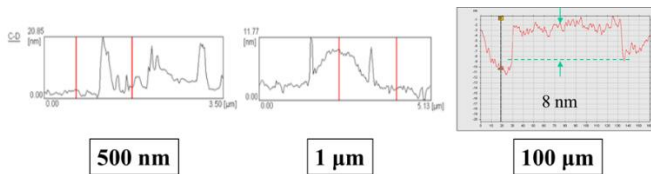


Fig.1 サンプル A の断面図

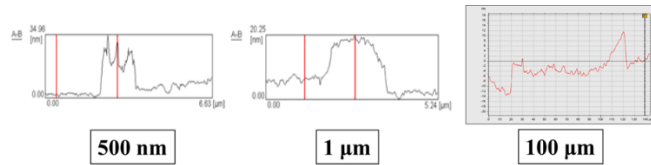


Fig.2 サンプル B の断面図

4. 考察

4.1. スリット幅と隆起高さの関係

スリット幅を微細化した際の隆起高さへの影響を知るために、先行研究と比較した図を Fig.3 に示す。Fig.3 より先行研究[4]での隆起高さの誤差範囲内に、今回の測定結果がほぼ収まるため、スリット幅を 140 μm から 0.5 μm まで微細化しても隆起高さは変化しなかったと言える。なお、本研究でのサンプル A と B はエネルギーを 100keV で照射を行ったのに対して、先行研究[4]では 90keV で行った。そこで、Fig.3 の先行研究[4]の隆起高さは 100keV に対応する値に補正したものとなっている。

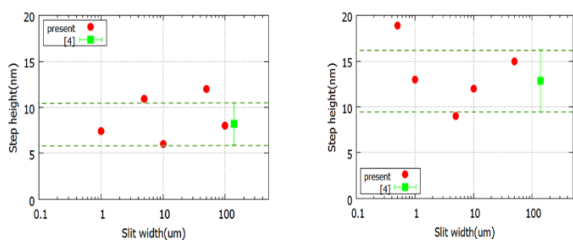
(a) Ar^{1+} , 100keV, $3 \times 10^{15}/cm^2$ (b) Ar^{1+} , 100keV, $5 \times 10^{15}/cm^2$

Fig.3 スリット幅と隆起高さの関係

4.2. 隆起のエッジ形状の制御

レジストパターンをスリットとして照射を行うと、多くのサンプルで Fig.1, Fig.2 のように台形(上底の長さ < 下底の長さ)の断面で隆起している。また、レジストマスクの断面の例を Fig.4 に示す。どのスリット幅でも Fig.4 のように $L_1 < L_2$ となっていることが確認できた。

Fig.5 のように、隆起の上底の長さを L_3 と定義する。すると、 L_1 と L_3 の関係は Fig.6 となり、 L_1 と L_3 の値はスリット幅を微細化してもほとんど一致していることがわかる。つまり、 L_1 を制御すれば L_3 も同様に制御できることがわかる。 L_1 と L_3 の関係をより詳細に知るために、 L_1 と L_3 の差を $dL = L_3 - L_1$ と定義し、スリット幅と dL の関係を Fig.7 に示す。Fig.7 に示すように、どのスリット幅の条件でも $dL > 0$ という結果になった。この結果は、レジストの膜厚が最も薄い部分が、スパッタリングによって照射の早い段階で除去されたためと考えられる。 dL は数 μm 程

度であるが、 L_3 の値を正確に制御するためには、 L_1 の値をレジストが照射によって削れることを考慮したうえで補正する必要がある。もしくは、レジストよりもスパッタリングの効果が小さい新たなマスクの検討も必要である。

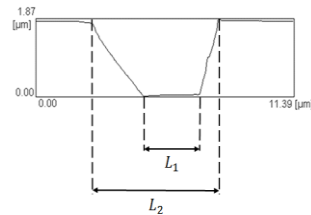


Fig.4 幅 5 μm のレジストの断面図

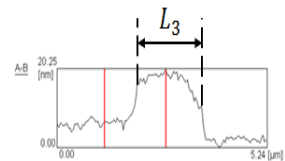
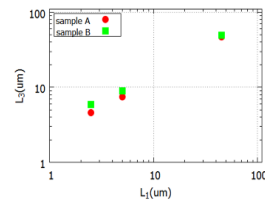
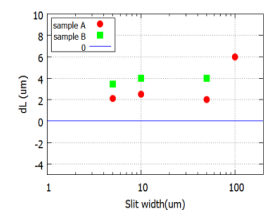


Fig.5 サンプル B の断面図: 1 μm

Fig.6 L_1 と L_3 の幅の関係Fig.7 スリット幅と dL の関係

5. 結言

- ・スリット幅を 140 μm から 0.5 μm まで段階的に細くし、隆起高さを変えずに微細化できることを確認した。
- ・スリット幅 L_1 と隆起幅 L_3 はほぼ一致した。
- ・隆起形状を正確に制御するには、レジストパターンのスリット幅を補正する必要があることがわかった。また、スパッタリングの効果が小さい新たなマスクの検討も必要である。

6. 参考文献

- [1] W. Jiang *et al.*, Appl. Phys. Lett. 91, 091918(2007)
- [2] V. Heera, F. Prokert, N. Schell, H. Seifarth, W. Fukarek, M. Voelskow, and W. Skorupa, Appl. Phys. Lett. 70, 3531(1997)
- [3] 株式会社トップ精工・加工材質ガイド, <https://www.top-seiko.co.jp/guide/characteristic/>
- [4] 佐藤法幸, 平成 28 年度精密工学会: Ar イオンビーム照射による炭化ケイ素結晶の隆起高さの制御
- [5] 前田一樹, 高知工科大学平成 25 年度修士論文: X-Z 軸テーブルを用いた多価イオンビームによる加工技術の開発
- [6] 手嶋聡, 高知工科大学平成 26 年度卒業論文: イオンビーム照射による Si と SiC 結晶の表面隆起
- [7] 浜川恒圭, 高知工科大学平成 16 年度修士論文: 多価イオンビーム照射による物質内部の破壊効果