

機械研磨加工がシリコン単結晶の微構造に及ぼす影響

[研究代表者] 高木 誠 (工学部機械学科)

[共同研究者] 岩田博之 (工学部電気学科)、坂 公恭 (総合技術研究所)

研究成果の概要

シリコン(Si)単結晶はマイクロシステム(MEMS)応用において構造材料として使用されるようになってきたが、その機械加工についての基礎データは十分ではない。またシリコン単結晶は高純度で極めて完全性の高い結晶構造を有するため、機械加工による微形状変化だけでなく、微構造変化も含めて明確に調べることができる。本研究では、シリコン単結晶の機械研磨加工に伴う表面形状変化とともに、それにとまなう微構造変化を透過型電子顕微鏡(TEM)を用いて調べた。具体的には、粗さの異なる耐水研磨紙で研磨加工した試料と、粒度の異なるアルミナ研磨剤やダイヤモンド研磨剤を用いてバフ研磨した試料を対象に、表面形状および微構造の変化を調べた。その結果、シリコン単結晶には研磨加工に伴い転位やマイクロクラック等の欠陥が発生するが、砥粒径 $0.1\mu\text{m}$ のダイヤモンドによるバフ研磨では転位の発生は見られなかった。

研究分野：材料工学、材料科学

キーワード：シリコン単結晶、研磨加工、透過型電子顕微鏡

1. 研究開始当初の背景

医療や情報など様々な分野において、狭小空間で動作可能なマイクロシステム(MEMS)の開発が期待される。一般的にMEMSを構成する微小な機械構造部品の材料としては、シリコン(Si)単結晶が使用される。しかし、Si単結晶の機械加工と、それによる形状変化や微構造変化については十分に調べられているとはいえない。

2. 研究の目的

本研究では、Si単結晶の機械研磨加工が加工形状や微構造に及ぼす影響を解明することを目的とした。機械研磨加工法として、耐水研磨紙による加工とともに、バフ研磨時の研磨剤が加工形状や微構造に及ぼす影響を詳細に調べた。

3. 研究の方法

Si単結晶を、砥粒径 $80\mu\text{m}$ および $5\mu\text{m}$ の耐水研磨紙(SiC)で研磨した試料、砥粒径 $1\mu\text{m}$ および $0.05\mu\text{m}$ のアルミナでバフ研磨した試料、砥粒径 $9\mu\text{m}$ 、 $1\mu\text{m}$ 、 $0.1\mu\text{m}$ のダイヤモンドでバフ研磨した試料を、マイクロスコープや走査型電子顕微鏡(SEM)を用いて表面の観察を行った。

そのうえで、集束イオンビーム(FIB)を用いて試料研磨面から断面観察用薄片を作製して、透過型電子顕微鏡(TEM)を用いて微構造の観察を試みた。

4. 研究成果

(1) 耐水研磨紙(SiC)による研磨加工

SiC砥粒径 $80\mu\text{m}$ の耐水研磨紙で研磨したSi単結晶表面のSEM写真およびその2箇所のTEM写真を図1に示す。

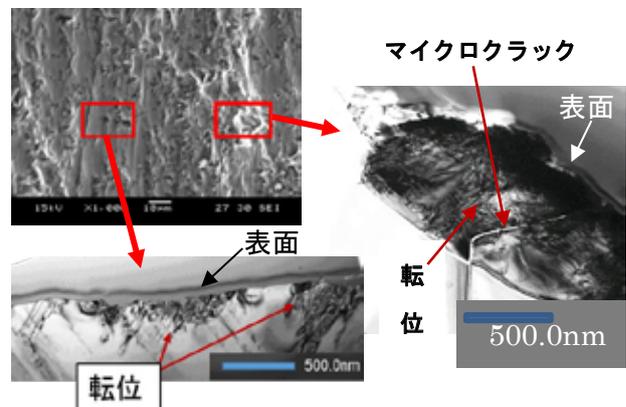


図1. 砥粒径 $80\mu\text{m}$ の耐水研磨紙で研磨したSi単結晶の表面のSEM写真(左上)およびその2箇所の断面のTEM写真

SiC 砥粒径 5 μm の耐水研磨紙で研磨した Si 単結晶表面の SEM 写真および TEM 写真を図 2 に示す。

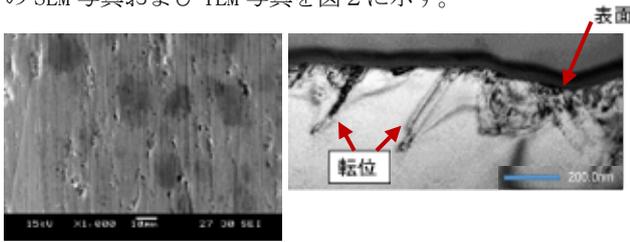


図 2. 砥粒径 5 μm の耐水研磨紙で研磨した Si 単結晶の表面の SEM 写真(左)およびその TEM 写真(右)

耐水研磨紙(SiC)による研磨では砥粒径が大きいほど転位が多く入り、クラック等の欠陥が生じる。また同じ砥粒径でも凹凸差の激しい箇所にはマイクロクラックなどの欠陥が生じ、転位も多く生じる(図 1)。

(2) アルミナによるバフ研磨 (図 3)

アルミナ砥粒径 1 μm でバフ研磨した Si 単結晶の表面には、アルミナ砥粒径 0.05 μm をバフ研磨で研磨した Si 単結晶の表面より全体的に広く深く転位が生じていた。アルミナによる研磨では砥粒径が小さくなると転位の量は減少するが、砥粒径 0.05 μm でも転位は発生する。

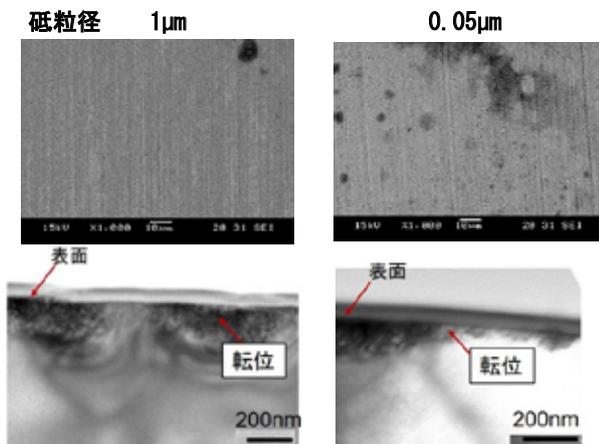


図 3. アルミナ砥粒径 1 μm および 0.05 μm で研磨した Si 単結晶の SEM 写真(上)および TEM 写真(下)

(3) ダイヤモンドによるバフ研磨 (図 4)

ダイヤモンド砥粒径 0.1 μm でバフ研磨した Si 単結晶の表面には転位が見られなかったが、ダイヤモンド砥粒径 1 μm でバフ研磨した Si 単結晶の表面には部分的に小さな転位が見られた。またダイヤモンド砥粒径 9 μm でバフ研磨した Si 単結晶の表面には、ダイヤモンド砥粒径 1 μm でバフ研磨した Si 単結晶に比べ、サイズの大きな転位がほぼ全面に入っていた。以上より、ダイヤモンドによる研磨で

は砥粒径が小さくなるにつれて全体的に転位が減少し、砥粒径 0.1 μm で転位は発生しなくなる。

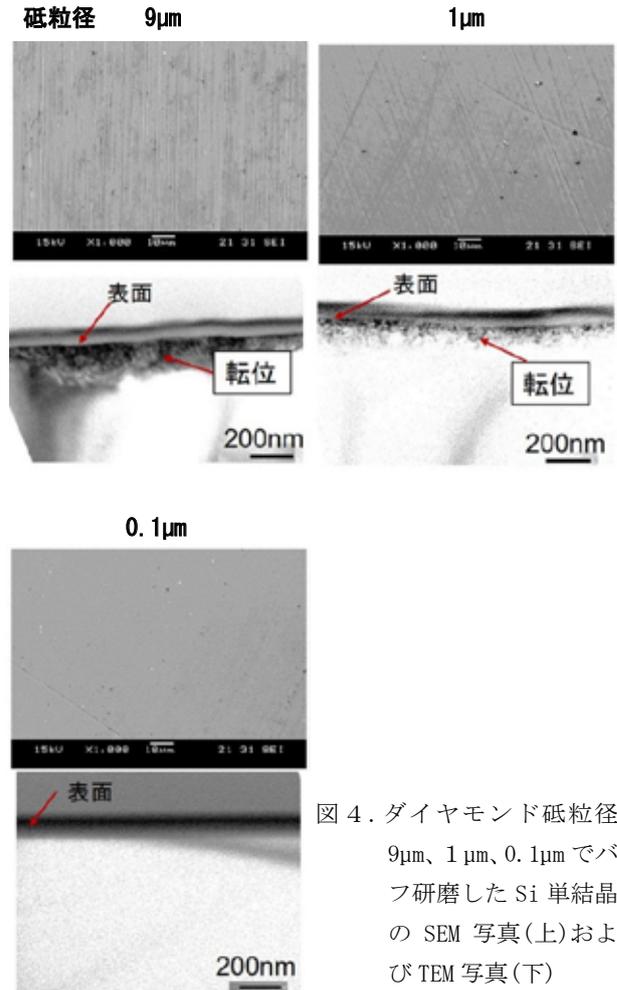


図 4. ダイヤモンド砥粒径 9 μm 、1 μm 、0.1 μm でバフ研磨した Si 単結晶の SEM 写真(上)および TEM 写真(下)

(4) 研磨剤の比較 (ダイヤモンドとアルミナ)

砥粒径 1 μm 同士で比較してみると、どちらも転位が広範囲に入るが、アルミナ研磨剤ではダイヤモンド研磨剤より転位が深く入る (図 3、図 4)。

また砥粒径 1 μm のダイヤモンド研磨では転位が見られなかったが、砥粒径 0.05 μm のアルミナ研磨では転位が見られた。これにはアルミナとダイヤモンドの粒形が関係しているのではないかと考え、マイクロスコープ等で観察したが、どちらも粒形は丸みを帯びており、形状に大きな違いは見られなかった。したがって、砥粒径の大きい 1 μm のダイヤモンド研磨剤で転位は発生せず、砥粒径の小さい 0.05 μm のアルミナ研磨剤で転位が発生する原因は、研磨剤の粒形の影響ではなく、ダイヤモンドとアルミナで湿式研磨時に何か化学的な作用の違いが生じるためではないかと考えられる。