

切断加工したシリコン単結晶の強度に及ぼす後加工の効果

[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)
河口大祐 (浜松ホトニクス株式会社)

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、その機械的性質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、機械的性質に及ぼす微構造の影響を調べるには適している。本研究では、シリコン単結晶の機械的性質が切断加工に伴い低下する原因と、その後加工の効果と、透過型電子顕微鏡(TEM)を用いて微構造変化の観点から調べた。具体的には、レーザーを用いたストレスダイシング法およびダイヤモンドブレードダイシング法で切断加工しシリコン単結晶ウエハを試料として、それぞれの切断部にアルミナによるバフ研磨を行い、それに伴う機械的性質と微構造の変化を調べた。その結果、シリコン単結晶には切断加工に伴い転位やマイクロクラック等の欠陥が発生して強度が低下するが、切断部にバフ研磨を施すと、それらの欠陥がほぼ除去されて強度が向上することが明らかになった。

研究分野：材料工学、材料科学

キーワード：シリコン単結晶、切断加工、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要素部品の材料としては、微細加工技術が確立しているシリコン(Si)単結晶が使用される。しかし、Si単結晶はこれまで電子材料として使用されてきたため、機械的性質については十分に調べられているとはいえない。またSiは完全性の高い単結晶構造が得られる稀有な材料であるため、機械的性質を司る微構造変化を調べる上で適している。

2. 研究の目的

本研究では、シリコン単結晶の機械的性質に及ぼす切断加工の影響を解明するとともに、後加工によりその機械的性質を改善することを目的とした。こうした加工に伴い機械的性質が変化する原因を解明するために、微構造の変化を詳細に調べた。

3. 研究の方法

ストレスダイシング(SD)法およびブレードダイシング(BD)法の2種類の方法で切断した幅10mm×長

さ30mmのSi単結晶ウエハを試料として使用した。SD法とは、レーザー光をSi単結晶の内部に集光させて走査することによって改質層を線状に形成した後、引張応力を作用させてその改質層を起点に劈開破壊することにより切断する方法である。BD法とは、ダイヤモンドブレードを用いてSi単結晶を機械的に切断する汎用的な方法である。

上記2種類の方法で切断加工したSi単結晶ウエハ試料を用い、その後加工として切断面をアルミナ微粉末でバフ研磨することで、SD法およびBD法による切断加工で生じた凹凸形状を除去し、切断面を平滑にした。

後加工前後において、機械的性質を4点曲げ試験により測定し、切断面の表面形状をマイクロ스코プで、内部の微構造をTEMで観察した。なおTEM観察用薄片試料は集束イオンビーム(FIB)を用いて作製した。

4. 研究成果

(1) SD法で切断したSi単結晶

レーザーを用いたSD法で切断したSi単結晶ウエハの切断面を、マイクロ스코プで観察した結果を図1に

示す。

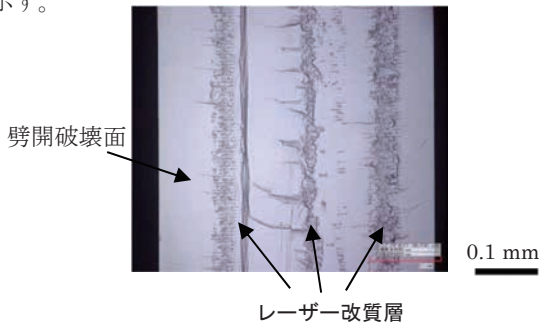


図1. SD法で切断したSi単結晶ウエハの切断面

レーザーを内部に3箇所深さを変えて集光させ走査しているため、3本の改質層が生じている。改質層には凹凸があるが、それ以外の部分は改質層を起点に劈開破壊させているため、平滑な面になっている

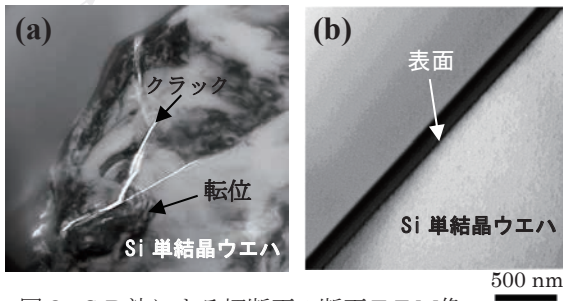


図2. SD法による切断面の断面TEM像

(a) 改質層 (b) 劈開破壊面

切断面の改質層と劈開破壊面の断面をTEMで観察した結果を図2に示す。改質層は表面が平滑ではなく、複雑な転位が多数発生し微小なクラックも生じていることがわかる。それに対して劈開破壊した面は平滑で、転位などは発生していない。

(2) BD法で切断したSi単結晶

ダイヤモンドブレードを用いるBD法で切断したSi単結晶ウエハの切断面を、顕微鏡で観察した結果を図3に示す。ダイヤモンドブレードによる切断傷



図3. SD法で切断したSi単結晶ウエハの切断面

が何本も生じ、この試料ではほぼ中央部に大きな切断傷あり、切断面全体にわたって凹凸がある。

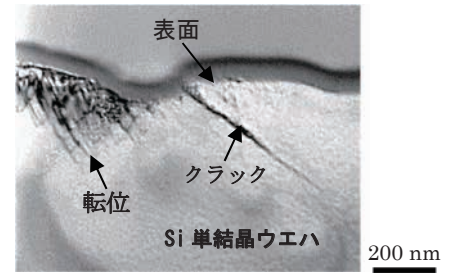


図4. BD法による切断面の断面TEM像

切断面の断面をTEMで観察した結果を図4に示す。表面は平滑ではなく、すべり面に沿った転位が多数発生していることから、切断時に塑性変形が起こっているといえる。また微小なクラックも発生している。

(3) バフ研磨による後加工の効果

前記2種類の方法で切断加工したSi単結晶ウエハ試料を、後加工として切断面をアルミナ微粉末でバフ研磨した。SD法およびBD法ともに、バフ研磨後には図5に典型的な例を示すように、切断加工で生じた凹凸は無くなり平滑な面になっている。



図5. バフ研磨後のSi単結晶ウエハの切断面

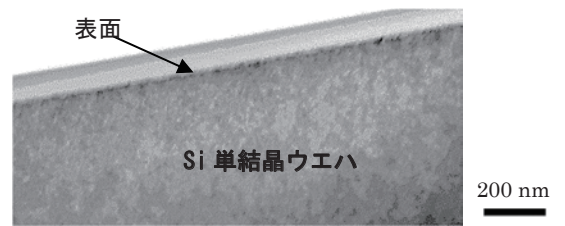


図6. バフ研磨後の切断面の断面TEM像

バフ研磨後の切断面の断面をTEM観察した結果を図6に示す。表面は平滑で、転位などはほとんど見られず、切断加工によるダメージは除去されている。

4点曲げ試験の結果、切断後にバフ研磨を施したSi単結晶の強度は、SD法で切断したSi単結晶で大幅に向上し、BD法の場合も向上が見られ、最終的にSD法およびBD法ともにほぼ同等の強度になった。これはバフ研磨により表面が平滑になったためと、転位や微小クラックが除去されたためであるといえる。