

引掻き試験による引掻き痕周辺のき裂に関する基礎検討

Basic Study on Cracks formed around Scratch Marks left by Scratch Test

大谷 健貴¹⁾

指導教員 立野 昌義²⁾

1) 工学院大学大学院 工学研究科 機械工学専攻

2) 工学院大学 工学部機械工学科

キーワード：引掻き試験，き裂，単結晶シリコン

1. 緒言

単結晶シリコンウエハは、半導体集積回路を形成するための基板として用いられる基本的な材料であり、半導体製造に関するさまざまな工程においても重要な役割を果たしていることが知られている^[1]。さらに、半導体プロセスによるマイクロオーダーの加工が可能であることから、動力源や機構を一体化した微小機械などの構成材料として適用するための研究も行われており、今後の用途の拡大も期待されている^[2]。しかし、単結晶シリコンは脆性材料であるため、どのような条件でき裂が生じ、進展していくのか等の条件を明らかにすることが重要となる^{[3][4]}。そのため、今回研削加工モデルに適応できるとされている引掻き試験を用いて、単結晶シリコンウエハのき裂生成機構について明らかにすることを試みる^{[5]~[7]}。

本研究では、単結晶シリコンの主要面(100)および引掻き方向[110]に形成される引掻き痕周辺のき裂を明らかにするために、引掻き針が一定速度で直進したときの引掻き特性曲線を明らかにした。そして、形成された引掻き痕とき裂を顕微鏡で観察した結果とを対応させることを試みた。

2. 実験方法

2.1 試験片および引掻き試験条件

本実験では、図1(a)の単結晶シリコンウエハ(主要面 {100}, OF {110}, 直径 50mm, 厚さ 0.300mm,

株式会社松崎製作所製)に連続加重式引掻き強度試験機(株式会社新東科学社製 HEIDON TYPE: 18L)を用いて、引掻き痕を導入する。引掻き試験条件は、試験速度: 30 [mm/min], 試験距離: 25 [mm], 試験荷重: 0~1.96 [N], 引掻き針先端形状: R50 μ m 円錐型ダイヤモンド針, 引掻き針導入面: (100)面, 引掻き方向: <110> 方向とした。実際の引掻き試験の様子は図1(b)に示す。試験荷重に関しては、分銅の問題上、4回に分けて試験を行った。引掻き時の針が受ける抵抗力は、針先端に取り付けたロードセルにより計測した。この方法で得た引掻き抵抗力および垂直荷重データを周期でPC内に取り込み、引掻き特性の関係を求めた。

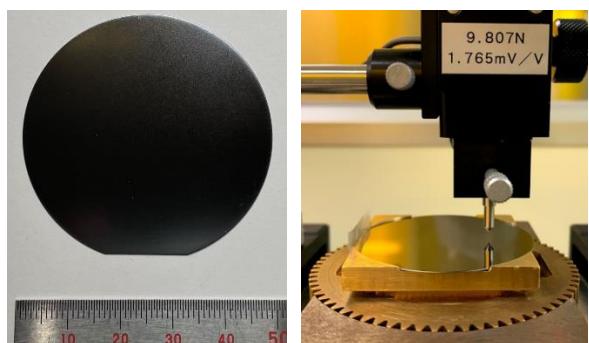


図1 (a)シリコンウエハ (b)引掻き試験の様子

2.2 引掻き痕周辺のき裂測定

レーザー顕微鏡(株式会社オリンパス製 OLS3000)にて試験片表面の引掻き痕形状、表面き裂および引掻き痕直下のき裂の観察を試みた。

3. 実験結果と考察

引掻き試験を行った際の引掻き抵抗力 R と垂直荷重 F との関係を導いた(図 2)。参考のため、引掻き曲線を最小二乗法で直線近似した直線(原点を通る線を含む)を図 2 に破線で示した。

低荷重領域($0\sim0.98$ [N])では、引掻き抵抗力 R はほぼ一定となった。この領域における引掻き痕をレーザー顕微鏡にて観察した結果、表面ではき裂はほとんど発生せず、断面からは垂直荷重 F $0\sim0.49$ [N]においては、図 3 左のようなき裂は発生していない。この結果から、引掻き針が表面上を滑るように移動したと推測される。しかし、垂直荷重 F $0.49\sim0.98$ [N]においては、図 3 のように反脊円状のき裂、ラテラルクラック、メディアンき裂が見られる。

高荷重領域($0.98\sim1.96$ [N])では、垂直荷重の増加に伴い引掻き抵抗力も増大した。この範囲では、垂直荷重の増加に伴い表面割れや断面では図 3 左のようなき裂が大きくなる。これらの結果から、この領域では針が下まで押し込み、削り取るような挙動を見せることがわかった。

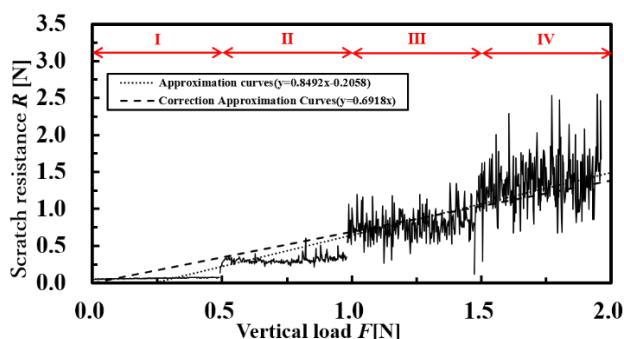


図 2 垂直荷重 F - 引掻き抵抗力 R のグラフ

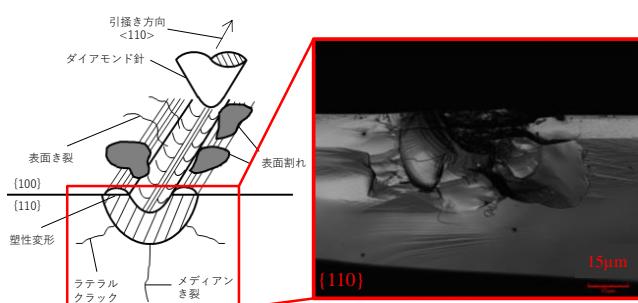


図 3 断面き裂の例(垂直荷重 F $0.49\sim0.98$ [N])

4. 結論

単結晶シリコンウエハ主要面を対象として引掻き特性と引掻き傷痕および周辺に生じるき裂の形態との対応関係を明らかにすることを試みた。得られた主な結論を以下に要約する。

(1) 低荷重領域($0\sim0.98$ [N])では、引掻き抵抗が一定であることから、き裂はほとんど生じない。ただし、垂直荷重 F $0.49\sim0.98$ [N]においては、断面き裂が発生していることが確認される。

(2) 高荷重領域($0.98\sim1.96$ [N])では垂直荷重 F の増加に伴い引掻き抵抗力値またはバラツキの増大がき裂の成長や割れに関連すると推測される。

5. 参考文献

- [1] 武藤睦治ほか 4 名, コーティング材スクラッチ試験における界面密着強度評価の試み, 日本機械学会論文集 A 編, Vol. 68, No. 670, pp. 909-915. (2002)
- [2] 藤田博之, マイクロメカトロニクス研究の現状, 日本生体医工学会, Vol. 3, No. 1, pp. 8-17. (1989)
- [3] 落合雄二, 単結晶シリコンの加工と破壊強度, 秋田高専研究紀要, Vol. 46, pp. 60-65. (2011)
- [4] 単結晶シリコンの超精密加工におけるクラック発生に及ぼす結晶方位の影響, 精密工学会誌, Vol. 69, No. 12, pp. 1754-1758. (2003)
- [5] 張 壁, 戸倉和, 吉川昌範, 円すいダイヤモンドの引掻きによる非酸化物セラミックスの表面性状について, 精密工学会誌, Vol. 53, No. 5, pp. 144-150. (1987)
- [6] 張 壁, 戸倉和, 吉川昌範, 円すいダイヤモンドの引掻きによる非酸化物セラミックスの表面性状について, 精密工学会誌, Vol. 54, No. 3, pp. 159-165. (1988)
- [7] 市田良夫, 貴志浩三, 蓮田裕一, ファインセラミックスの引っかき溝形成の延性/ぜい性遷移の AE 法による識別, 精密工学会誌, Vol. 58, No. 5, pp. 97-102. (1992)