

単結晶シリコンウエハの引掻き試験におけるき裂形状に関する検討

Investigation of Crack Shape on Single Crystal Silicon Wafers in Scratch Test

大谷 健貴¹⁾, 長澤 祐太²⁾

指導教員 立野 昌義³⁾

1) 工学院大学 工学部 機械工学科 材料力学研究室

2) 工学院大学大学院 工学研究科 機械工学専攻

3) 工学院大学 工学部機械工学科

キーワード：単結晶シリコン, 引掻き試験, き裂

1. 緒言

単結晶シリコンは半導体プロセスに適用できることから、マイクロマシンの構成材料として期待されている。室温における単結晶シリコンの特性として、破断に至るまでのひずみが小さい脆性材料であることから、破壊靱性値を適切に評価することが重要となる。そのため、き裂形状の把握やこれに基づく強度予測の方法を確立することが必須となる^[1]。また、単結晶シリコンは結晶異方性をもち、特定の指数格子面に沿って破壊しやすいへき開面を有することから、固有欠陥以外のへき開面を起点とした破壊現象を十分に理解し考慮する必要がある^[2]。本研究では、単結晶シリコンウエハの主要面(100)に対して、引掻き針を介して垂直荷重を作用させ、引掻き方向(110)に針を動かした際の引掻き抵抗力との関係を明らかにすることを試みる。

あわせて、引掻き試験により生成される引掻き痕跡およびき裂の形状および引掻き痕直下に形成されるき裂や損傷程度との対応関係を調査する^[3]。これらの観察結果と引掻き特性（垂直荷重 - 引掻き抵抗曲線）とを比較し、単結晶シリコンウエハ主要面における表面損傷について考察を行う。引掻き痕直下に形成されるき裂が、破壊靱性評価(SEPB法)に用いられる余き裂^{[4][5][6]}としての可能性についても検討する。

2. 実験方法

2.1 試験片形状および引掻き試験条件

株式会社松崎製作所製の単結晶シリコンウエハ（主要面{100}, 0F{110}, 直径50mm, 厚さ0.300mm）に連続加重式引掻強度試験機（株式会社新東科学社製 HEIDON TYPE: 18L）を用いて、引掻き痕および引掻き傷を導入する。このときの引掻き試験機の外観および引掻き針の導入と引掻き方向をそれぞれ Fig.1 と Fig.2 に示す。

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とした。引掻き針は(100)面に導入し、試料台を(110)方向に移動させる(Fig.2)。垂直荷重 F は試料台の動きと共に、アーム上を転がる連続加重分銅(0~50[g])と一定荷重分銅(50[g], 100[g])を併用することで、0~0.49[N], 0.49~0.98[N], 0.98~1.47[N], 1.47~1.96[N]の4種類用意した。引掻き時の針が受ける抵抗力は、ロードセルにより計測し、これを引掻き抵抗力とした。こうして得られた引掻き抵抗力および垂直荷重と時間との関係から、垂直荷重 - 引掻き抵抗力との関係を求めた。

2.2 表面損傷測定

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を観察する。また引掻き痕幅、深さを測定する。

3. 実験結果と考察

垂直荷重 F (0~1.96[N])と引掻き抵抗力 R との関係を Fig.3 に示した. 垂直荷重を4つの領域に分けて引掻き試験を実施したため, 垂直荷重用の錘を変えた境界部分で(0.49[N], 0.98[N], 1.47[N])引掻き抵抗が不連続となる. 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 Fig3 に破線で示している.

垂直荷重 F が0~0.49[N], 0.49~0.98[N]では, 引掻き抵抗力 R はほぼ一定となり, 低垂直荷重時に引掻き試験時に針が表面上を滑るように移動したと推測される. この領域の垂直荷重によって得られた引掻き痕をレーザー顕微鏡で真上から観察し, 顕微鏡の計測モードを利用して計測した結果から引掻き痕幅および深さそれぞれが垂直荷重の増加によらずほぼ一定となった.

垂直荷重 F が0.98~1.96[N]では, 垂直荷重の増加に伴い引掻き抵抗も増大した. この範囲では, 垂直荷重の増加に伴い引掻き抵抗も増大し, シリコンウエハ表面の損傷も大きくなる.

4. 結論

単結晶シリコンにおける引掻き特性(垂直荷重と引掻き抵抗力)を明らかにした. 今後, 得られたデータが単結晶シリコンの表面損傷とき裂形状にどのような関係を示すかを継続調査する. 破壊靱性評価に適用するために引掻き試験における予き裂の検討も行う.



Fig.1 連続加重式引掻強度試験機

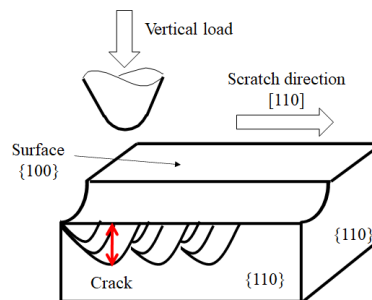


Fig.2 垂直荷重導入面と引掻き方向

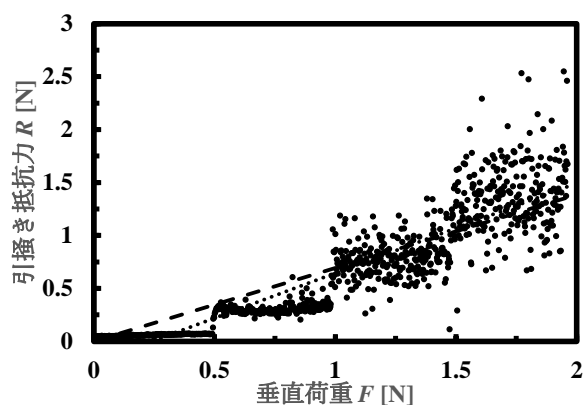


Fig.3 垂直荷重 F - 引掻き抵抗力 R のグラフ

5. 参考文献

- [1] 林國郎, 辻本真司, 岡本泰則, 西川友三, 単結晶 Si の破壊じん性, 材料, Vol. 40, No. 451, pp. 405-410(1991)
- [2] 中村格芳, 後藤崇之, 李木経孝, 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)
- [3] 吉岡正人, MgO 単結晶の微小引掻による塑性変形領域, 山梨大学工学部研究報告, vol. 28, pp83-89(1977)
- [4] 日本工業規格, JIS R 1607:2015, ファインセラミックスの室温破壊じん(靱)性試験方法
- [5] 西田俊彦, 塩野剛司, 長井淳夫, 西川友三, プレクラック導入試片を用いた構造用セラミックスの破壊靱性評価, 日本セラミックス協会学術論文誌, vol. 96, No. 1113, pp. 608-612(1988)
- [6] 淡路英夫, 渡部忠男, 山田達也, 坂井田喜久, 田宮博道, 中川平三郎, SEVNB 法による破壊靱性評価, 日本機械学会論文集 A 編, vol. 56, No. 525, pp128-133