

単結晶シリコン押し込みき裂周辺における残留応力の予測

Estimation of Residual Stress around Indentation Crack on Single Crystal Silicon Wafer

今井 要¹⁾ 古賀 由泰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
3) 工学院大学 工学部機械工学科

キーワード：残留応力，単結晶材料，表面き裂，破壊靱性値

1. 緒言

単結晶シリコンは半導体製造技術における超微細加工技術が適用可能となるため、マイクロマシンの構成材料に適用されることが期待されている。脆性材料である単結晶シリコンを構造材料に適用する場合、破壊靱性値を適切に評価することが重要となる。

破壊靱性値を求める方法には様々な方法が提案されている。その中で Control Surface Flaw method(CSF)法がセラミックスやガラスなどの材料特性評価に用いられている⁽¹⁾。このCSF法では、硬さ試験機に取り付けられているダイヤモンド製圧子を試料表面上に押し付けることにより試験片表面にき裂を導入し、これを応力集中源として曲げ強度試験が行われる。セラミックスやガラスなどをこの方法で評価する場合には、導入された表面き裂周辺部にき裂を開口する方向に引張り残留応力が生じることが明らかにされている。このためCSF法により破壊靱性値を評価する際には表面き裂周辺に生じる表面残留応力を評価し、これらを適切に除去する必要がある。しかしながら表面き裂周辺に生じる残留応力および

その適切除去量に関して未だ明確にされていないのが現状である。(図1)

本研究では単結晶シリコンウエハから切り出した短冊状の小型試験片を対象として、線形破壊力学を基礎とした残留応力推定法を用いて残留応力を推定し、その妥当性を明らかにすることを試みる。

2. 残留応力評価法および実験方法

2.1. 残留応力評価法の概略

残留応力が表面に分布する状態の実測破壊強度から算出される破壊靱性値には、残留応力の影響を含むと予想される。一方で線形破壊力学モデルが成立し表面残留応力の影響が除去できたと仮定すれば、表面除去量に依存することなく破壊靱性値が一定条件下で表面き裂形状・寸法と破壊強度との関係は整理できると予想される。

上記より表面除去無し試験片の破壊強度と表面き裂寸法から導出される見掛けの破壊靱性値 K'_{10} と除去量に依存しないそれ K_{10} との差 ΔK_R が、表面き裂先端付近の残留応力を特徴づけるパラメータを示すことになる。

したがって本実験では、表面き裂を導入した試験片の表面を微量ずつ除去した試験片の破壊強度とその破断面から観察される表面き裂寸法との関係を明確にした上で、破壊靱性値に及ぼす表面除去量の影響を明らかにした。上記方法の妥当性を評価するため、上記パラメータから得られる残留応力値とX線回折法による測定値との比較を試みる。

なお、X線回折装置(Rigaku Corporation RINT2200vk)を用いる予定である。本実験に用いる表面除去装置には ECR イオンシャワーを用いた。曲げ試験は4点曲げ試験を用いた。

2.2. 供試材料と試験片切り出し

本実験に用いる供試材は、単結晶シリコン(株式会社松崎製作所 主要面{100}, 直径50mm, 厚さ0.300mm)を用いた。試験片の切り出しは、ダイシングマシン(株式会社ディスコ製 DAD522)を使用して、長手方向11.5mm, 幅方向5.0mmに切り出した短冊状試験片を用いた応力集中源として、CSF法と同様にヌープ圧子を用いて試験片中央の鏡面に圧痕を導入した。圧子圧入条件は圧痕導入荷重 $P=980\text{mN}$ とした。

圧痕導入された試験片に ECR イオンシャワー装置(ELIONIX EIS-200ER)を用いて表面除去する。四点曲げ試験(株式会社マツザキ製 MMT-1)から得られる破断強度を破壊靱性値評価式に代入し、表面除去無し試験片から算出される K'_{IC} および除去量に依存しない破壊靱性値 K_{IC} その差から残留応力 ΔK_R を推定した。

3. 実験結果及び考察

表面き裂導入前の段階の単結晶シリコン試験片を対象とし、イオンシャワー照射の有無

に対応する表面き裂形状および破壊靱性値に及ぼす表面除去量の影響を調べた。なお破断面はいずれもへき開面(110)に対応した。これらの結果から、表面除去量によらず圧子接触面直下の破断面き裂形状は半楕円状き裂として取り扱うことが可能であることをまず確認した。さらに破壊靱性値と表面除去量との関係から、圧痕導入後の見かけの破壊靱性値 K'_{IC} および表面除去量によらず破壊靱性値が一定の値となる K_{IC} を求めた。後者の K_{IC} は、IF法にて求めた K_I とほぼ一致していることが確認できた。上記の結果から、残留応力を評価する上でのパラメータ ΔK_R を評価できた。現在これらの妥当性を評価する上での残留応力をX線回折による残留応力測定結果と比較する予定である。

4. 結論

一連の圧痕直下におけるき裂形状の観察結果および実験結果に基づき、線形破壊力学に基づく残留応力パラメータを求めることが可能であることを示した。

参考文献

- 1) 上杉, 安富, 平井, 土屋, 田畑, 赤外光集光加熱を用いた単結晶シリコンマイクロ構造体の真空中高温引張試験, 日本機械学会 2014年度年次大会講演概要集(2014)

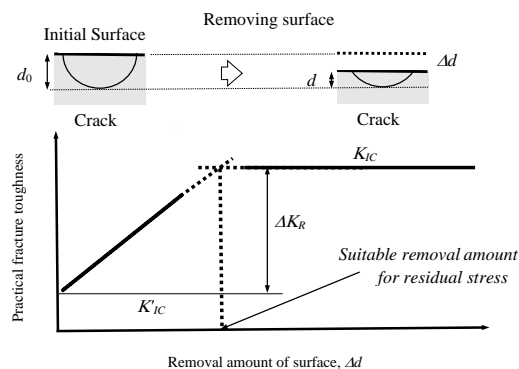


図1: 線形破壊力学に基づく残留応力と表面除去量の概要