# 404 V溝付きシリコン微小試験片の強度評価 Strength evaluation of Silicon Notched Micro Specimen

○ 学 郷原 広道 (東京電機大・院) 正 辻 裕一 (東京電機大・理工)

木村 紀博 (東京電機大・院)

# Hiromichi Gohara, Hirokazu Tsuji and Norihiro Kimura

1. 緒 售

近年、マイクロマシニングに対し半導体集積回路の加工プロセス技術の応用で、シリコン単結晶を用いて異方性エチッングを利用して衝撃センサやダイヤフラムなどが製作されている。これらの製作には異方性エッチングがなされるが、それにより切欠きや段差等には応力集中が生じる.これらの構造物を静的荷重や繰返し荷重下で用いると、その部分が強度的弱点となる.従ってマイクロマシニングに使用される材料の疲労特性などの機械的性質を知ることが重要になっている.本研究では、単結晶シリコンを異方性エッチングによってV溝切欠きを導入した試験片を製作し、4点曲げ静的試験を行う.以前、切欠きをき裂とみなして求めた破壊じん性値が切欠き深さに依存しないことを確かめた.そこで試験片幅の違いによる静的強度評価による試験寸法幅の影響を検討することを目的とした.

#### 2. 試験片の概要

マイクロマシンの可動機構には,弾性ヒンジ等の弾性変形 を利用した構造が多用されている.このような微小構造物は 製作工程に異方性エッチングを必要とし,この工程により生 じる切欠き部,段差等の応力集中部が存在する.本研究で製 作する試験片は V 溝切欠きを導入した試験片である.

試験片の材質として単結晶 Si を用い,面方位(100),厚さ 0.53mm の4インチシリコンウェハを用いて製作した.

#### 3. 試験片製作

試験片製作の手順は、単結晶 Si にフォトリソグラフィによ りマスク形状にパターニングした SiO2 薄膜をマスク材とし て形成し、ダイシングソーにより、シリコンウエハを長手方 向が<100>方向となるように長手方向 11 mm×幅方向 3 mm に切断する.その後、異方性エッチングにより、切断した試 験片にV溝を導入した.その寸法を表 1 示す.

### 4. 試験片端面の表面仕上げ

試験片の端面観察を行うため、ラッピングシートにより# 2000 から#15000 まで研磨・超音波洗浄を繰り返し行った。 また、光学顕微鏡により端面状態を確認しながら鏡面を得た. 図2に製作した試験片端面を示す.写真よりサブミクロンオ ーダーの切欠き底半径が得られており、切欠き底近傍に付着 物は確認されず、端面において表面仕上げが十分に行われて いることを確認した.

#### 5. 試験片への負荷方法

試験は、図3に示す試験機によって行い、負荷方式は、試 験片に対し曲げモーメントを与える4点曲げを行う.図1に 4点曲げ負荷部を示す.4点曲げ負荷部はフィゾー干渉計を 兼ねており、LEDによる単色光を照射し、CCDカメラに より干渉縞画像の取得が可能である.試験片変位は z 軸ステ ージのピエゾアクチュエータの調節により与える.





Fig. 2 SEM Photograph of side face on specimen.



日本機械学会関東支部ブロック合同講演会-2002 宇都宮-講演論文集〔2002-9.6~7,宇都宮〕

# 静的曲げ強度の評価

### 6.1曲げ試験

製作した平滑試験片を含む試験片に、4 点曲げ荷重を負荷 し曲げモーメントを与え、破断に至るまで変位させた.図 5 に切欠き深さに対する破壊変位の影響を示す.破断時に得ら れた干渉稿より破壊変位を測定したところ、平滑試験片が最 大値を示し、切欠き深さの増加に伴い破壊変位は減少する傾 向が認められた.また、全ての試験片において弾性変形を呈 し、更に変位を与えると(100)に沿って脆性的に破壊に至った. 試験片長手方向を<110>方向に切り出した試験片の静的曲げ 試験を実施したところ、その破面は(100)に沿って破断した. また破面には、へき開破壊の特徴であるリバーパターンがき 裂伝ば方向に沿って観察された.

### 6.2 破壊靭性評価

それぞれの V 溝切欠き試験片の切欠き底の曲率半径はサブ ミクロンオーダであることから切欠き深さをき裂長さと想定 し破壊靱性値 K<sub>c</sub>を式(1)より計算する。

$$K_{C} = \sigma_{0} \sqrt{\pi a} \cdot F_{i} \left(\frac{a}{W}\right) \tag{1}$$

### $F_{I}(\xi) = 1.122 - 1.40 \xi + 7.33 \xi^{2} - 13.08 \xi^{3} + 14.0 \xi^{4}$

式(1)の有効範囲は  $\xi < 0.6$ ,  $\xi = a/W$  であり, すべての試験片 において満たされている. ここで a はき裂長さ, W は試験片 厚さ,  $\sigma_0$  は破断時の曲げ応力であり破断時の変位から求める. また,通常の試験片では厚さをBとする. 図 6 に切欠き深さ に対する破壊靭性値の影響を示す. 図中の点線は Ericson ら による IF 法により測定した Si の破壊靭性レベル K<sub>c</sub>=0.9 MPa 「血である<sup>(4)</sup>. 結果, IF 法による Si の破壊靭性値 K<sub>c</sub>=0.9 MPa 」 」にする。 18 長さが塑性域寸法に対して十分大きい値を取ら ず線形破壊力学の適用範囲を満たさないため,き裂長さの比 a/Wの影響を受け,破壊靭性値が減少したものと考えられる. 6.3 試験片幅の破壊じん性への影響

試験片幅 5mm、3mm のものを制作し破壊じん性値の評価 を行った. 試験幅 5mm のものと 3mm 比較したところ,破壊 じん性値がほぼ 1Mpa√m と一致し,試験片寸法とも無関係な 材料定数が得られた.

#### 6. 結 言

(1)単結晶 Si 製の V 溝切欠き試験片をマイクロマシニングに より製作した. SEM による観察結果より切欠き底がサブミク ロンオーダの曲率半径を持っていることを確認した.

(2)研磨方法の確立により、切欠き底近傍の観察が行える試験 片端面が得られた.

(3)幅を変えたV溝切欠き試験片について4点曲げ試験を行った.V溝をき裂とみなして破壊じん性を求めたところ、その値はIF法の0.9MPa√mと近い値となった.さらにこの値は切欠き深さ・試験片寸法、共に依存しない材料固有の値である.

# 参考文献

(1) 駒井・材料, 46-12, (1997), 1442.

(2) 佐藤,精密工学会誌,61-10,(1995),1373.
駒井・箕島・俵・井上・砂子,日本機械学会論文集,(A)(1994),52-58.



Fig.4 Testing machine outline.



Fig.5 Fracture displacement as a function of the groove depth.



Fig.6 Fracture toughness as a function of the groove depth.

- 128 -