604 ポリシリコン薄膜微小素子の機械的特性評価

Evaluation of Mechanical Properties of Poly-silicon Microelements

○ 正 箕島 弘二 (京大工) 正 田中 和人 (京大工)
 学 横手 広樹 (京大院) 学 友井田 亮 (京大院)
 正 駒井 謙治郎 (京大工, 現 福井高専)

Kohji MINOSHIMA, Kyoto University, Yoshida-Honmachi, Sakyo-ku, Kyoto
 Kazuto TANAKA, Hiroki YOKOTE, Ryo TOMOIDA and Kenjiro KOMAI

The mechanical properties of poly-silicon microelements were evaluated using the previously developed testing system for the mechanical properties of thin tensile microelements. The testing system consists of a tensile and fatigue testing machine actuated by a PZT driven positioning stage, a micro manipulation system, a non-contact strain measurement system with a help of a double-field-of-view microscope. The tested part of the specimen is 250 μm in length, 10 μm in width and 3.8 μm in thickness. The tensile strength of the poly-silicon thin specimen was 2.30 ± 0.20 GPa and the Young's modulus was 136 ± 10 GPa. The specimen tested here did not show fatigue fracture up to about 10^5 stress cycles in laboratory air.

Key words: Microelement, Poly-silicon, Thin Film, Tensile Test, Mechanical Property, Young's Modulus, Fatigue

1. 緒言

マイクロマシンやマイクロエレクトロメカニカルシステム(MEMS)を初めとするマイクロシステムを実現するためには、使用されるサイズでの微小素子の機械的特性や強度特性を把握することが不可欠である。そこで、本研究では、先に開発した薄膜マイクロ構造機械的特性評価試験システム[1](図1)を用いて、ポリシリコン薄膜微小素子の引張、疲労試験を行い、ポリシリコン薄膜の引張強度、弾性率を評価するとともに、疲労破壊特性について検討した。

2. 試験片および試験方法

試験片形状を図2に示す。用いた試験片は、シリコン基板上に犠牲層エッチングにより片持ち梁形状に加工した厚さ 3.8 μm のポリシリコン薄膜である。図中の黒色部分が基板と固定された部分であり、右端が試験片固定端、左側の広い部分がチャック部、その間の細い部分が試験片ゲージ部であり、ゲージ平行部長さは 250 μm 、幅は 10 μm である。試験片と基板の間は 2 μm であり、犠牲層エッチングを行うため、固定端とチャ

ック部に微小な多数のエッチングホールを応力集中ができるだけ小さくなるように配置した。試験片はチャック部を4つのアンカーに橋渡しすることで支持し、試験片ハンドリングなどによる破損

Fig.2 Test specimen.

Fig.1 Schematic drawing of the testing system for mechanical properties of microelement thin film.

を防いでいる。アンカーとの橋渡し部はチャッキング直前に三次元油圧マイクロマニピュレータによって切断した。また、ひずみ測定には、図 2 中に示す突起部をゲージ部に加工し、図 1 中に示した二視野顕微鏡援用ひずみ測定システムを用いて非接触にひずみを測定した。本システムではそれぞれの突起部のみを拡大して観察することにより、離れた二点間の変位量の差を正確に求め、これにより試験片ゲージ部ののびを求めることを可能としたものである。なお、突起部根本ではゲージ部の公称応力に対して約 1.5 の弾性応力集中が生じるため、強度特性評価には突起部のない試験片を用いた。なお、突起部のない試験片は突起部の有無以外の寸法や形状は、図 2 に示した試験片と同一である。

引張、疲労試験には、図 1 に概略図を示した薄膜マイクロ構造機械的特性評価試験システムを用いた。これは、薄膜マイクロエレメント引張・疲労試験機、二視野顕微鏡援用ひずみ測定システム、マイクロマテリアルハンドリングシステム(図には省略)で構成されている。引張・疲労試験機のアクチュエータとしては、ピエゾ素子を用いた高分解能 X 軸ピエゾステージ (Piezosystem Jena 製、作動距離: 320 μm 、位置分解能: 36 nm) を用い、荷重測定には、最大許容荷重が 0.5N あるいは 1N のロードセルを、チャッキングには直径 250 μm のプローブによる接着剤チャックを用いた。また、全ての機器の計測・制御にはプログラミングソフト LabVIEW (National Instruments 製) によって作成したプログラムを用いた。

試験は、試験片基板を駆動ステージ上に固定し、チャック部を支える 4 本のアンカー橋渡し部を切断したのち、ロードセル先端に取り付けたプローブと試験片チャック部を瞬間接着剤により固定して実施した。引張試験は、引張変位速度 0.5 $\mu\text{m/s}$ あるいは 1 $\mu\text{m/s}$ で行い、疲労試験は、応力比 $R = 0.1$ 、繰返し速度 1~3Hz で行った。なお、試験環境はいずれも実験室空气中 (RH 25 $\pm$ 5 %, 23 $\pm$ 3 $^{\circ}\text{C}$) である。

3. 試験結果および考察

突起のない試験片のチャック間変位と荷重の関係の一例を図 3 に示す。試験に用いたポリシリコンは最終破断に至るまで弾性挙動を呈し、ぜい性的に破壊したことがわかる。また、本試験システムを用いて、接着剤によるチャッキングで引張試験が可能であることがわかる。

ひずみ測定用突起部のない試験片と突起部のある試験片の引張強度を図 4 に示す。引張強度は、突起部のない試験片では 2.30 ± 0.20 GPa、突起部のある試験片では 2.06 ± 0.22 GPa であった。また、突起部のある試験片では突起部根元で破断したのに対して、突起部のない試験片では、試験片平行部で破断しており、突起部根元での応力集中が大きく影響している。突起部のある試験片の弾性率は、 136 ± 10 GPa であった。

ひずみ測定用の突起部のない試験片に対する疲労試験結果 (S-N 線図) を図 5 に示す。図中 a, b を付した試験片は、疲労試験において破断しなかったものに対して、引張試験を行ったものである。疲労荷重直後に破断する試験片と 10^5 サイクル以上荷重を負荷しても破断しない試験片に分かれた。また、疲労荷重で破断しなかった試験片に対して引張試験を行った結果、破断強度は引張強度と同程度であったことから、疲労荷重による損傷はほとんど見られなかったものと考えられる。

(結言、参考文献省略)

Fig.3 Load-displacement curve of a specimen without gauge projections.

Fig.4 Tensile strength of poly-Si microelement.

Fig.5 S-N curve of Poly-Si microelement.