

“その場” 観察用マイクロ破壊試験機の開発

○山室賢輝¹, 高島大樹², 峯洋二², 高島和希²
熊本大学工学部¹, 熊本大学大学院自然科学研究科²

1. はじめに

材料のマクロな機械的性質は、結晶粒径や析出物など微視組織の機械的性質に依存しており、組織制御によって材料特性を向上させている。したがって、このような微小レベルで機械的性質を調査することが、新たな材料開発へとつながる。また近年注目されている MEMS (Micro Electro Mechanical System : 微小電子機械システム) デバイスでは、薄膜が構造材料として用いられているため、デバイスの信頼性・耐久性を向上させるには、薄膜の機械的性質を精度良く計測する必要がある。そこで本研究では、材料のマイクロ組織や薄膜等から作製したマイクロン～サブマイクロンサイズの部材に対する破壊試験機の開発を行った。また CCD カメラを用いて“その場” 観察を行うことで、材料の変形や破壊のメカニズム解明への寄与を検討したので、ここに報告する。

2. 試験機概要

本研究で使用する片持ち梁試験片の寸法は、非常に微小であるため、一般の試験装置では負荷の方法や荷重位置の決定に問題があり、非常に困難である。そこで本研究グループでは、これまでに自作のマイクロスケール試験機を用いて、曲げ試験、破壊試験、疲労試験等の材料試験を行ってきた。この手法を用いることで、試験片の荷重-変位曲線を得ることが可能となるが、試験中における試験片の挙動を観察することは不可能であった。

そこで、今回は新たにマイクロスケール試験機を開発した。これまで用いてきた試験機に関しては、圧子の押し込み位置を CCD カメラで確認し、上方向から圧子を押し込むという手法で行っていたが、今回開発した試験機では、圧子を押し込む方向を上方向から横方向に変えることで、上方向からの白色干渉計測定および動画撮影を可能とした仕様になっている。本試験機は一台で、曲げ試験、引張試験、破壊試験、疲労試験とさまざまな機械的性質の評価を行うことが可能であり、広い汎用性を兼ね備えている。図1~3にそれぞれ本研究で開発したマイクロスケール試験機のブロック図、外観写真を示す。また、以下に試験機を構成する各部品についての詳細を記す。

● アクチュエータ

試験片にごく微小な変位を与えるためにアクチュエータとして、チタン酸ジルコン酸鉛 (PZT : lead zirconate titanate) の圧電素子を用いた。このアクチュエータは最大で 38 μm の変位を与えることが可能であり、その変位はアクチュエータ中に組み込まれた容

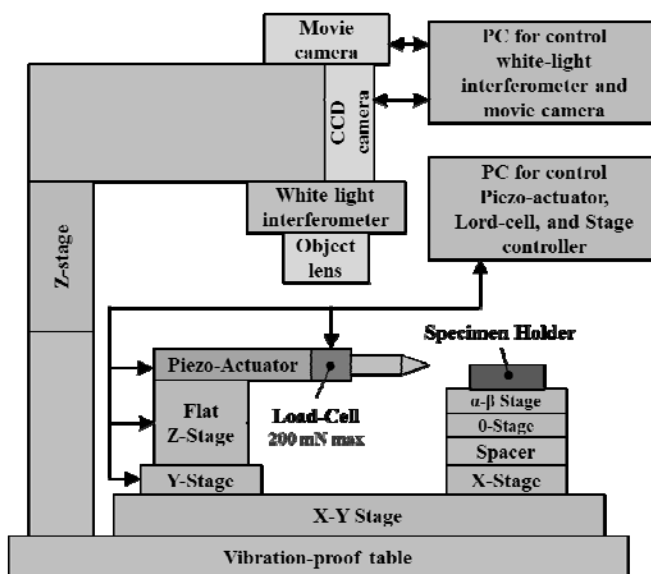


図1 マイクロスケール試験機のブロック図

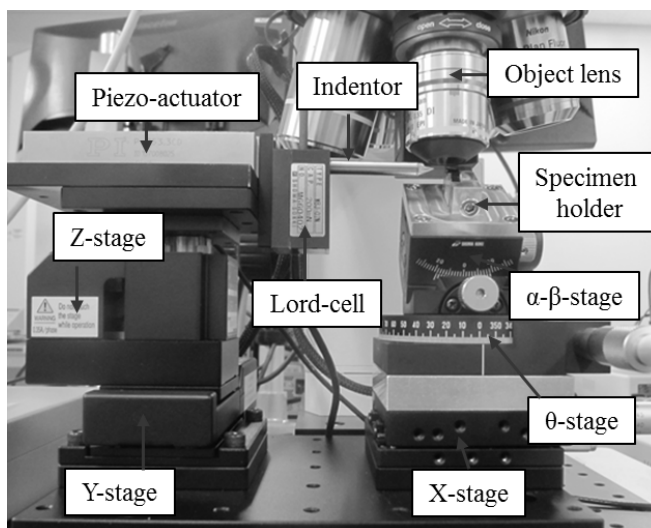


図2 マイクロスケール試験機の外観

量型変位計によって計測され、フィードバック制御をこの信号により行っている。なお、圧電素子の変位分解能は $0.2\ \mu\text{m}$ と非常に微細な制御が可能である。また、変位を与える際にはコントローラから変位または電圧をアナログ制御することが可能である。加えて、圧電素子の特性データをアンプ内にプログラムしてあるため、パソコンによるデジタル制御も可能である。本試験機では、アクチュエータ先端にロードセルを介し、金属製ロッドが取り付けられており、その先端に装着した曲率半径 $5\ \mu\text{m}$ の球形ダイヤモンドチップにより微小試験片に荷重を負荷する機構となっている。

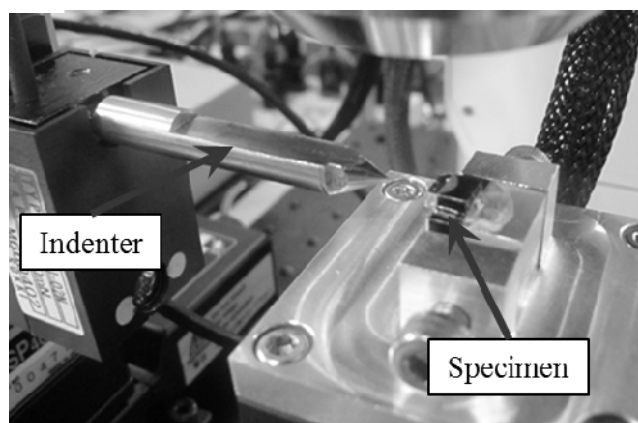


図3 圧子回りの外観

● ロードセル

上述したように、試験片への荷重の負荷は球形ダイヤモンドチップを用いている。その際、微小な荷重を検出するために、本試験機ではひずみゲージ式のロードセルを用いており、このロードセルにより、静的および動的荷重の両方を検出することが可能である。ロードセルは試験片のサイズおよび試験の種類によって最大許容荷重 $200\ \text{mN}$ 、荷重検出精度 $20\ \mu\text{N}$ の製品と、最大許容荷重 $2\ \text{N}$ 、荷重検出精度 $200\ \mu\text{N}$ の製品に付け替えることができる。本研究では前者の製品を用いた。

● ステージ関連

マイクロスケール試験においては、試験片の位置合わせの精度が極めて重要である。さらに、試験中はデータのサンプリングの他に動画観察も行うため、対物レンズに対して試験片が垂直に位置しなければならない。そのため、平行・高さ方向の制御に加えて、傾斜の制御も必要となってくる。したがって、試験機下部には試験機全体を動かす粗動X-Yステージ(手動)、試験片固定サイドには、圧子と試験片との距離を調節するためのXステージ(手動)、試験片の傾斜を制御するための α - β ステージ(手動)および回転を制御するための θ ステージ(手動)、試験機構サイドには圧子の位置を正確に制御するためのYステージ(自動)およびZステージ(自動)を搭載した。

● 対物レンズ・CCDカメラ

対物レンズは一般的な光学顕微鏡用の対物レンズ" $\times 5$ "、" $\times 10$ "、" $\times 50$ "、" $\times 100$ "の4種類の倍率が備えられており、これらを駆使して圧子の位置合わせを行う。また、試験片の平行度確認は白色干渉計を用い、試験中の試験片における挙動の確認は、動画撮影を可能としたCCDカメラ(DS-Ri1 Nikon製)を用いて行った。

3. おわりに

現在作製した本試験機により試験を実施中である。結果については、研究会で報告の予定である。近年、マイクロ材料試験への期待は高まる一方であり、マクロ材料試験と同様に国際的標準規格の策定も進みつつある。本研究がそれらの進展に寄与することができるよう、これからも取り組んでいきたい。

4. 参考文献

- ・ K. Takashima, Y. Higo, S. Sugiura and M. Shimojo, "Fatigue Crack Growth Behavior of Micro-Sized Specimens Prepared from an Electroless Plated Ni-P Amorphous Alloy Thin Film", Material Transactions, Vol. 44, No. 1, (2001), 68-73.
- ・ 高島和希, Timothy P. Halford, Discar Rudinal, 肥後矢吉, "マイクロサイズ試験片によるTiAl基金属化合物の破壊じん性試験", 「材料」(J. Soc. Mat. Sci., Japan), Vol. 54, No. 10, (2005), 1036-1040.
- ・ 瀧英士, 川上雄士, 大津雅亮, 高島和希, "Fe-3mass%Si合金単結晶の微小試験片における破壊挙動とその試験片寸法効果", 日本金属学会誌, 第71巻, 第2号, (2007), 190-194.

※平成25年度九州地区総合技術研究会 in 長崎大学にて報告