

## 先進 MEMS デバイスの三次元複雑構造の X 線 CT による可視化

### Visualization of sophisticated 3D structure of advanced Micro-Electro-Mechanical-System (MEMS) device by X-ray CT

戸田裕之、上杉健太郎<sup>a</sup>、安政柱、大垣智巳、森田繁樹、向山智彦、黒田直行、後出治彦

Toda Hiroyuki, Uesugi Kentaro<sup>a</sup>, Ahn JeongJu, Ohgaki Tomomi, Morita Shigeki,  
Masuda Tomokazu, Mukaiyama Tomohiko, Kuroda Naoyuki, Ushirode Haruhiko

豊橋技術科学大学、<sup>a</sup> 高輝度光科学研究センター

Toyohashi University of Technology, <sup>a</sup> Japan Synchrotron Radiation Research Institute

近年、マイクロタービンやマイクロモーターなどの複雑な形状のマイクロ・エレクトロ・メカニカル・システム(MEMS)の開発が進んでいるが、その内部の応力と歪を定量的に解析する手法はなく、実用化の障害となっている。本課題では、その基礎実験として BL47XU を使い、純アルミニウムフィルム of 三次元的な応力と歪分布を得るための“その場観察”実験を行った。マイクロ組織を確認できない場合を想定し、X 線吸収率の異なる粒子をマーカーとして試料の表面に塗布した。実験から得られたデータをもとに三次元的な変形特性の解析を試みた。

It is necessary to evaluate three dimensional stress (or strain) distribution of the micro-electromechanical system (MEMS) because it is difficult or impossible to evaluate them using conventional technique in spite of an effort to develop micro-turbine or micro-motor and so on. Therefore, in order to develop the technique to evaluate them, in-situ tests were carried out at BL47XU using a pure aluminum film. Iron particles, having different X-ray absorption coefficient from the pure Al, were stuck on the surface of the pure Al as marker particles. Transmission images obtained at the experiment were reconstructed and 3D stress (or strain) distribution of the pure Al film could be evaluated quantitatively.

#### 背景と研究目的

近年、マイクロ・エレクトロ・メカニカル・システム (MEMS) で LIGA プロセスなどによって真に 3 次元的な極小レベルの機械システムが生まれつつある。一方、80 年代までの MEMS の主な適用分野は、自動車の各種センサーに限られた。90 年代に入って IT をはじめバイオや医

療などの様々な適用分野の飛躍的な発展につれ、MEMS の製作技術は進歩を遂げた。

MEMS には、その極小なサイズに起因して、信頼性評価に資することができる非破壊評価技術が存在せず、三次元的な構造の高精度可視化および定量的な力学評価技術が求められている。表面の構造についてはレーザー顕微鏡などが利

用できるが、内部を高分解能で可視化できる工学的手法は、X 線 CT 以外にない。本課題では、世界最高レベルの SPring-8 の高分解能光学系と高精度放射線マイクロトモグラフィー技術を利用し、複雑な形状を有する様々な種類の MEMS の三次元的な材料特性を評価する技術の構築を目指す。

## 実験

実験は BL47XU の X 線 CT を利用して、変形挙動のその場観察実験を行った。使用した X 線は 20keV、サイズは 1 mm(H)×1 mm(V)である。CCD 検出器 [C4880-10-14A, BM3] と BM3 を使い、視野を約 1 μm とした。透過像は、回転ステージの角度を 0.24 度ずつ回転し撮影した。

99.6%のアルミニウム薄板を供試材として用い、Fig.1 のような試験片を製作した。供試材の三次元変形を明確にするため、marker particle として粒子、アルミニウムと X 線吸収率が異なる鉄粉(直径 3-5 μm、純度 99.9%以上) を用いた。この粒子をエポキシ樹脂(EP-4901, 旭電化工業)を使って試験片の表面に塗布した。

試験片表面のエポキシ樹脂は最大 5 μm 以内の厚さにした。実験に先立ち、CT 用の特殊小型材料試験機を試作した。これは、荷重を受けるロードフレームがポリマーの円筒であり X 線の透過を妨げず、かつ回転ステージ上に載荷でき

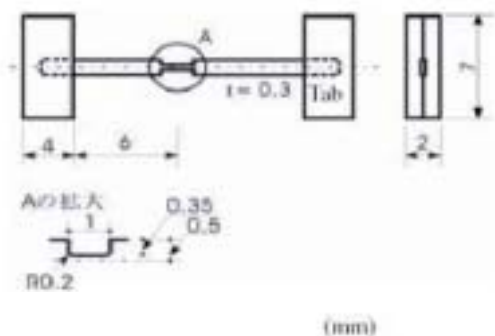


Fig. 1 Details of the test piece.

る様に軽量としたものである。引張り試験は、変位制御で変位レベル 0.104、0.218、0.285、0.344mm で中断して観察した。

## 結果および考察

X 線 CT で撮った透過像を再構成した。試験片の gage length 付近の三次元像を Fig.2 に表した。図から分かるようにマーカー粒子が比較的均一に分散したことを確認でき、撮った 1017 枚の透過像のファイルを Z 軸に全部重ねた後、各粒子の重心、表面積、体積を測定した。この結果から、本課題で使用したアルミニウム薄板の三次元変形を可視化することができた。各粒子の像を XYZ 三次元座標に重ねて示したのが

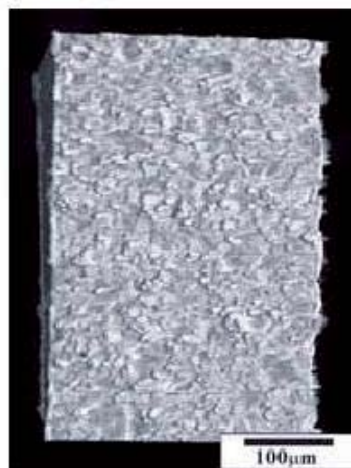


Fig.2 3D image of gage length part of the specimen. Marker particles are uniformly distributed.

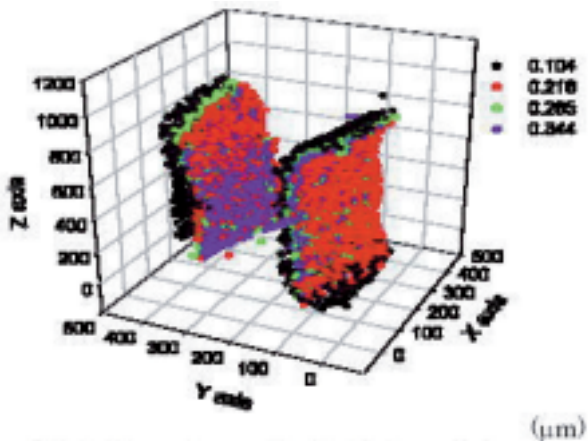


Fig.3 Change in spatial distribution of the marker particles with applied strain.

Fig.3 である。変位の増加とともに試験片の全体歪も増加した。その量は、変位が 0.104、0.218、0.218、0.344mm の場合、歪でそれぞれ 0.107、0.245、0.329、0.415 であった。特に、今までに不可能であったミクロンオーダーの三次元的なローカルな歪の分布が得られた。

### 今後の課題

複雑な三次元形状を有する MEMS を用い、様々な応力状態における三次元変形を評価できる様、マーカー粒子やマイクロ組織のトラッキングの様、マーカー粒子やマイクロ組織のトラッキングを自動ないし半自動で行い、材料内部の応力や歪の分布が高精度に得られる技術の確立を目指す。

### 参考文献

- 1) S.M.Allameh, Journal of Materials science 38(2003) 4115-4123
- 2) Z. Xue, M. T. A Saif, Y.G. Huang, Journal of MEMS 11(2002) 27-35
- 3) P.H.Holloway, J.Gorrell, Kenneth Shannon III, Tribology issues and opportunities in MEMS edited by B.Bhusham, 1998, Kluwer Academic publishers

### 論文発表状況・特許状況

- [1] 安政柱、戸田裕之、小林俊郎、2004 年日本金属学会春期大会(口頭発表)

### キーワード

・ MEMS

機械的な構造を有しながら LSI 部での演算が可能な高機能デバイス。小型で省エネが特長で、自動車、IT、医療・バイオ等、多方面で応用が期待されている。