

# 共焦点顕微鏡・ラマン分光複合装置による応力・ひずみ測定 —MEMSの信頼性評価への適用—

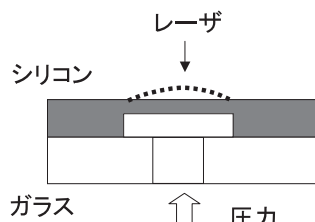


図1 圧力センサの外観(上),  
圧力センサ模式図(下)

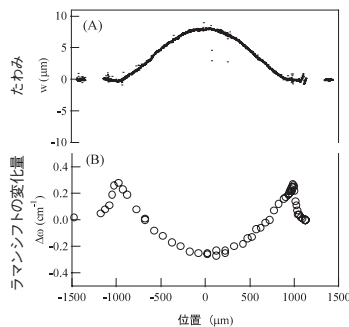


図2 圧力印加時の中心断面のたわみ  
( $w$ )とラマンシフト( $\Delta\omega$ )

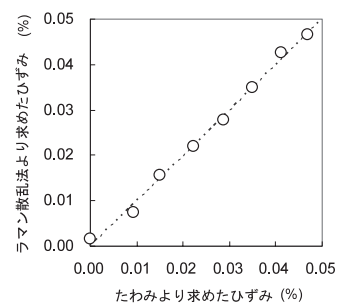


図3 たわみおよびラマン散乱法より  
求めたひずみの比較

## 1. はじめに

半導体の製造プロセスを応用し、微小な構造体を作製するマイクロマシニングメカニカルシステム(MEMS)が広く研究されており、さまざまな分野で応用され、近年、急速な発展を遂げている。小型化・集積化・並列化の長所を有することから広い産業分野において、高付加価値型製品を生み出すための基盤技術として注目され、期待されている。今後さらにMEMSが普

及、浸透していくためには長期実用に耐え寿命予測が可能であること、信頼性の確保が課題の一つである。MEMSの信頼性に関わる問題として、破壊等のマイクロスケールの材料試験評価、体積に対する表面積の増加による張り付きや接触などの微小領域に特有な現象、帯電や絶縁破壊、大気中のチリ、ごみなどの影響等さまざまな要因が挙げられる<sup>(1)</sup>。特にMEMSは可動構造を持つ特徴を有するとから、変形動作による応力・ひずみが生じる。これは、上に述べたさまざまな問題点の原因になり得ることから、MEMSの評価において特に重要であると考えられる。

微小領域の応力測定法として顕微ラマン散乱分光法に着目した。ほかの手法としてX線回折、電子線回折法があげられるが、X線回折法は高感度であるが、通常空間分解能は数100nm程度と大きい。また、電子線回折法は空間分解能は高いが試料の前処理が煩雑である。顕微ラマン分光法は1 $\mu\text{m}$ 程度の空間分解能、非破壊、非接触、大気中で測定が可能などの利点を有することから、ひずみ測定法として広く利用されている。

## 2. 共焦点顕微鏡・ラマン分光複合装置

ラマン効果は、物質に振動数 $\omega$ の光をあてると格子振動との相互作用のため、振動数 $\omega$ の光のほかに、 $\omega \pm \omega_R$ の光が散乱される。これがラマン散乱であり、 $\omega_R$ がラマンシフトと呼ばれ、格子振動の振動数に等しい。ひずみが生じている場合に $\omega_R$ が変化することから、ひずみ・応力を知ることが出来る。ラマン散乱によるひずみ測定関連の論文・解説は良書が多数あるので詳細は参照されたい<sup>(2)~(3)</sup>。

MEMS評価においては、xy面内の高分解能観察に加えて、z方向の変位であるたわみを含めた形状評価が重要である。そこで、顕微ラマン分光装置の試料観察顕微鏡部に、z方向の分解能を有する共焦点顕微鏡を備えた顕微ラマン分光システムを構築した。共焦点顕微鏡による形状評価とラマン散乱によるひずみ評価の双方を行うことのできるシステムである。

## 3. 適用事例

本測定装置の適用例としてMEMSデバイスの代表例である圧力センサの評価を示す。圧力センサは微細加工により膜構造を形成し、圧力による膜の

変形を膜内に形成された回路の抵抗値変化から検出するものである。(図1)対物レンズ下で観察が可能となるようにパッケージングおよび保護樹脂を取り除いた市販の圧力センサを用いた。

圧力印加時のシリコン膜のたわみ(z方向の変位、 $w$ )と無ひずみ結晶のラマンシフト( $\omega_{R0}$ 、単結晶シリコンの場合 $\sim 521\text{cm}^{-1}$ )を基準としたラマンシフト( $\omega_{Ri}$ )の変化量( $\Delta\omega = \omega_{Ri} - \omega_{R0}$ )を図2に示す。圧縮ひずみが存在する場合は $\omega_{Ri}$ は高波数側にシフトすることから $\Delta\omega$ は正となり、引張ひずみの場合は負となる。このようにして、ひずみ量を求めることが出来る。図2(B)に示されるように、エッジ部分では $\Delta\omega > 0$ 、つまり圧縮ひずみが、z方向の変位が最大となる中央部では $\Delta\omega < 0$ となり引張ひずみが生じていることがラマン分光法により明確にわかる。

図3に圧力センサの膜厚、膜の一辺の長さ、およびたわみ $w$ から求めたひずみを横軸に、ラマン散乱から求めたひずみを縦軸にとった図を示す。破線は原点を通る傾き1の直線である。両者から求めたひずみ量がよく一致していることがわかる。これより、ラマン散乱によるひずみ測定が可能であること、また、本装置により形状測定とラマン散乱による相補的なひずみ測定が行えることが示せた。

## 4. おわりに

顕微ラマン散乱は空間分解能が高く、非破壊、非接触、大気中での測定が可能であり、ひずみ評価技術として重要な役目を果たしている。共焦点顕微鏡の観察によるたわみも含めた形状評価とあわせることにより、MEMSデバイスのひずみ評価技術として威力を発揮できるものと考えている。今後はMEMSデバイスの信頼性の向上に寄与できるよう取り組みを進めていきたい。

(原稿受付 2006年11月1日)

[山口 誠, 上野 滋(財)機械振興協会 技術研究所]

### ●文献

- (1) H16年度MEMS信頼性評価技術に関する調査報告書、(2005)。
- (2) 例えば最近のSiのひずみ測定について、中島信一・三谷武士・吉川正信、ラマン散乱分光法によるシリコンのひずみ・応力評価、応用物理、75-10(2006)、1224。
- (3) 例えばひずみ以外の評価として、間紀旺、加工変質層の非破壊検査について、日本機械学会誌、109-1055(2006)、49。