

プローブ顕微鏡を用いた音響的手法による 高分解能物性イメージング High-resolution-acoustic imaging of material properties using scanning probe microscopy

高田啓二[†] (日立基礎研)

TAKATA, Keiji (Advanced Research Lab., Hitachi, Ltd.)

Tunneling acoustic microscopy and strain imaging are high-resolution-acoustic-imaging methods using scanning probe microscopes. The resolutions were beyond the limitation of the wave length and reached nanometers. The spatial resolutions were achieved with the confined acoustic sources formed in samples in the former and with the high-resolution sensitive detection of surface vibrations in the latter. We proposed these methods and presented surface-topographic observation, dielectric or charge imaging, piezoelectric/ferroelectric observation and magnetic imaging.

1. はじめに

微細な構造および物性を観察するための顕微鏡の研究・開発の歴史は古く、光学顕微鏡ばかりでなく、電子顕微鏡、超音波顕微鏡など、今日ではそれらの特長を活かした様々な手法を我々は比較的容易に利用することができる。空間分解能は利用するプローブの波長により制限されるため、光に代わり電子線を用いることで、分解能は μm から nm へと大幅に向上した。超音波は減衰等のために、短波長化による高分解能化にはなお課題がある。

一方、波長の限界を越えた分解能を得るための手法も試みられてきた。例えば、光源と観察対象とを極めて接近させ、両者の間に波長以下の「穴」を開けて、そこから漏れ出る近接場光で対象を観察する近接場顕微鏡がある。¹⁾

ここでは、我々が研究開発してきた超音波を用いた波長を越える空間分解能が得られる高分解能物性イメージングである、トンネル音響顕微鏡 (TAM)²⁾ 及びひずみイメージングについて述べる。これらは走査型プローブ顕微鏡 (SPM)³⁾ の範疇の手法である。前者は音源を極めて小さくし、これを走査することで音源に関わる物理情報を高分解能で得る。一方、後者は超音波 (試料表面変位) 検出領域を極めて小さくすることで試料表面変位に関わる物性情報を高分解能で取得・イメージングする。従って、波としての性質は利用していない。超音波は物理情報を伝播・検出するための手段である。これまでの物性計測と、磁性計測についての観察結果を報告する。

keiji.takata.dx@hitachi.com

2. トンネル音響顕微鏡とひずみイメージング

SPM は、プローブを試料に極めて近接させて圧電変位素子で走査する類の顕微法である。両者の相互作用領域は極めて限られており、またその間隙変化は極めて高感度・高精度に検出・制御される。TAM では両者の相互作用を変調し、それにより試料に発生する超音波を検出することで、極めて小さい音源の情報をイメージングに利用する。

表面を互いに接近させると一般的に両者の間には力が働き、それに応じたひずみが発生する。従って、プローブを振動させるとプローブと試料表面間に働く力が変調され、試料に力が働く範囲を音源とする超音波が発生する。これを圧電変換子で検出すると力が測定できる。この情報を例えばプローブと試料との間隙制御に用いれば原子間力顕微鏡 (AFM) と同様に絶縁体形状を観察できる。プローブと試料との間に電圧を加えたときに発生する静電気力も同様に検出し、試料の誘電的性質・電荷のイメージングを行った。

一方、ひずみイメージングでは SPM を超音波 (試料表面変位) 検出のために用いる。その検出領域は極めて狭いので、検出ポイントすなわちプローブを走査することで、たとえ音源である変位領域が大きくとも局所的な物性を反映した高分解能画像が得られる。

我々は USE93 に於いて初めて、⁴⁾ 圧電ひずみを SPM で検出することで試料の圧電的強誘電的特性を定量的に高分解能イメージングする手法を提案・実証し、他研究機関でも用いられている^{5,6)}。

さらに USE99 に於いて初めて、⁷⁾ 磁性体にその適用範囲を広げた。すなわち、磁性体に磁場を印加したときに発生するひずみを SPM で検出・イメージングすることで磁区を観察した。

3. ひずみイメージングによる磁性計測

磁性体に磁場を印加するとひずみが発生する。磁場誘起ひずみの発生メカニズムとして、①磁歪 ②磁化と外部磁場との間に働く磁力により発生するひずみ ③交播磁場により発生する渦電流と磁化とのクーロン力により発生するひずみが指摘された。これまでの実験の変調周波数は70kHz程度であるので渦電流の影響はほとんどないと考えられる。磁力によるひずみは印加磁場がピークのとときに最大になるのに対して、磁歪は磁化変化最大時に最大値をとる。印加磁場一周期中で両者は一般的には、ずれるので磁歪が支配的か磁力かを位相により識別できる。⁸⁾

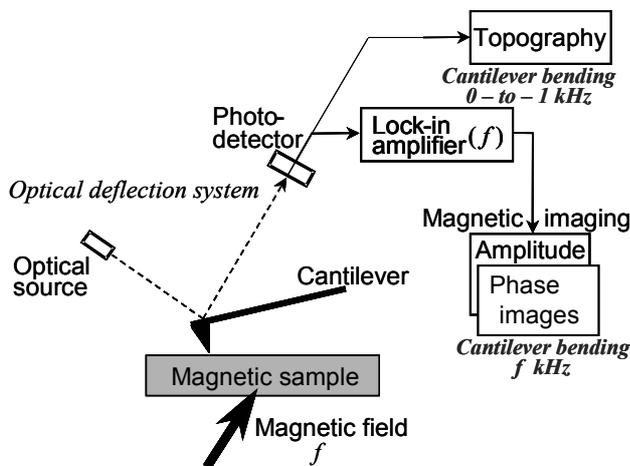


Fig.1 Schematic diagram of strain imaging for magnetic observation using an atomic force microscope.

Fig.1 に、SPM として AFM を用いた計測の概略を示す。カンチレバーのたわみが一定となるようにプローブ先端と試料表面との間隙が制御された状態でプローブは試料面上をラスタ走査され、表面形状が描き出される。このときカンチレバーのたわみが検出される帯域は概ね 1kHz 以下である。この帯域よりも十分高い周波数 f の交播磁場を磁性試料に印加する。磁場誘起ひずみにより試料表面は変位し、それに応じて周波数 f でカンチレバーがたわむ。これを同期検波し、振幅と位相とが表面形状と同時に画像化される。

Fig.2 に、ハードディスク記録ヘッドの観察例を示す。上部磁極(top pole)と下部磁極(bottom pole)とのギャップの漏れ磁場でディスクに記録する。磁極の輪郭を破線で図中に書き込んでいる。外部磁場は記録ヘッド自身のコイルにより印加した。ひずみの拡散により、磁極外の非磁性部(アルミナ)でもひずみが発見されている。試料深部で発生したひずみは拡散し表面変位として検出されるため、内部の磁区構造も反映した像が得られる。

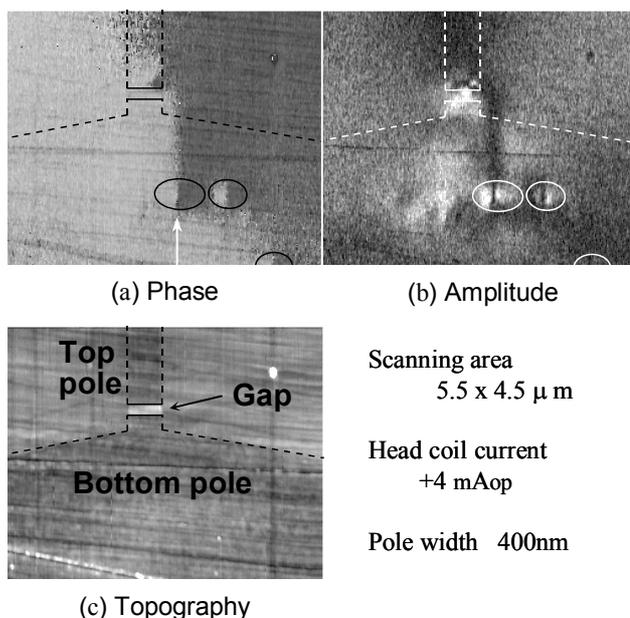


Fig. 2 Recording head of hard disk drive.

ヘッドコイル電流が書き込み時よりも一桁小さいときには下部磁極中の磁区は、位相像明暗に観られるように印加磁場平行、反平行に左右に分かれている。この磁壁位置を白矢印で示す。上部磁極左右の非磁性領域においても左右明暗が分かれているので、深部の磁極も左右に分かれた磁区構造であることが判る。また、位相・振幅像中楕円で囲った領域も左右で位相の明暗が別れ、振幅が大きい。これも同様に平行、反平行の磁区構造が表面に形成されたものである。コイル電流の増減に従い白矢印で示した磁壁は移動し、20mA ではその磁壁と楕円磁区構造はともに消失し、磁極の磁化は磁場方向に一樣に揃う。

謝辞

磁性計測は、日立GST城石芳博氏の協力により成し遂げることができました。

引用文献

1. U. Durig, D. W. Pohl and F. Rohner : J. Appl. Phys. **59** (1986) 3318.
2. 高田啓二 : USE91 講演予稿集 (1991) 15.
3. *Scanning Probe Microscopy and Spectroscopy: Methods and Applications*, Roland Wiesendanger (Cambridge University Press).
4. 高田他 : USE93 講演予稿集 (1993) 23.
5. T. Hidaka, T. Maruyama, M. Saitoh, N. Mikoshiba, M. Shimizu, T. Shiosaki, L.A. Wills, R. Hiskes, S.A. Dicarolis and J.Amano: Appl. Phys. Lett. **68**(1996) 2358.
6. S. Ide, T. Tsuji and K. Yamanaka : USE2005 講演予稿集 (2005) 219.
7. 高田啓二 : USE99 講演予稿集 (1999) 305.
8. K. Takata, F. Tomiyama, and Y. Shiroishi: Jpn. J. Appl. Phys. **43** (2004) 6056.