

原子間力顕微鏡によるエバネセント波の検出

菅原 康弘・阿部 真之・森田 清三

極微小空間での光と物質との相互作用を解明するため、物質近傍に局在する非放射光（エバネセント光）の検出が試みられている。エバネセント光の検出は、従来、その場の中に先端の鋭い探針を挿入し、散乱によってエバネセント光を伝搬光に変換し、その光強度を測定することで行われてきた。ここでは、エバネセント光と物質との局所的な電磁相互作用によって生じる微弱な力を超高感度な原子間力顕微鏡を用いて検出できることを紹介し、この検出方法を用いた走査型近接場光学顕微鏡について述べる。

1. 力によるエバネセント光の検出原理^{1,2)}

エバネセント光を力として検出するための概念を図1に示す¹⁾。原子間力顕微鏡のセンサーとして使用されている半導体探針の表面では、原子の結合が切断されているので、表面の結合手は他より電子を受け入れる余地（表面状態）がある。n型半導体の探針の場合、伝導帯にある表面近傍の電子は表面状態に落ち込み、表面近傍では自由電子が抜けたために正イオンが優越する。この表面状態に落ち込んだ電子とドナーの正イオンとで電気2重層が形成され、エネルギーバンドは表面に向かって上へ曲がる。このようなエネルギーバンド構造の半導体探針をエバネセント光の中に挿入すると、散乱によって変換された伝搬光が探針先端に入射する。この光入射により、表面の空乏層領域で電子・正孔対が形成され、その結果、エネルギーバンドの曲がりは $|\Delta\psi|$ だけ小さくなる。ここで、探針・プリズム背面の電極間に電圧を印加すれば、このエネルギーバンドの曲がりの変化を静電気力として測定することができる。なお、このようなエバネセント光の検出原理は、非常に微小なフォトダイオードが探針先端に設けられていることと等価である。ただし、その出力はフォトダイオードのように光起電力や光電流ではなく、力である点が異なる。

2. 新しい概念の走査型近接場光学顕微鏡

エバネセント光を力として検出する走査型近接場光学

顕微鏡の構成を図2に示す^{1,2)}。この装置では、探針の共振周波数の変化を測定し、探針に働く力勾配を導出する。この周波数変調検出法では、探針のQ値が高いほど、力の検出感度が向上する。そこで、力を検出するための探針やエバネセント光を発生させるためのプリズムは、空気の粘性抵抗のなくなる高真空中に設置した。このため、プリズム表面には水は付着しておらず、キャピラリー力の影響は全くない。なお、プリズム表面のファンデルワールス力の影響を分離するため、レーザー光を光チョッパーでAC変調し、エバネセント光による力だけを測定した。

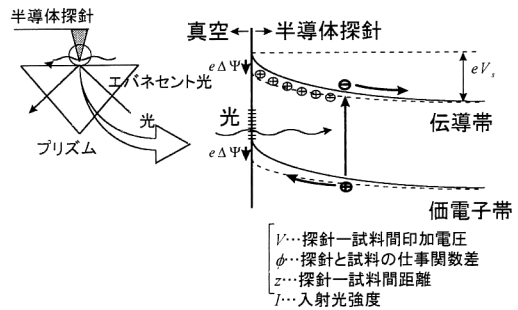


図1 力によるエバネセント光の検出原理。

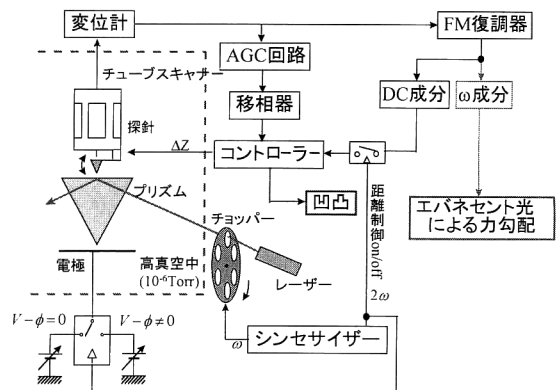


図2 フォトン原子間力顕微鏡の構成。

大阪大学大学院工学研究科 (〒565 吹田市山田丘 2-1)
E-mail: sugawara@ele.eng.osaka-u.ac.jp

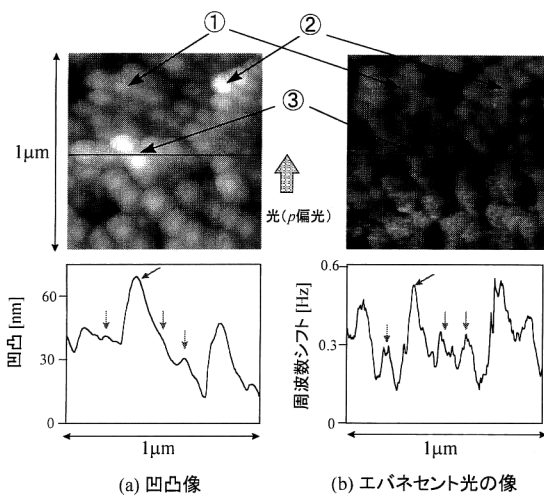


図3 ラテックス球の凹凸像とエバネセント光の像。

3. エバネセント光の高分解能測定結果

プリズム表面に展開された直径 100 nm のラテックス球を試料として取り上げ、凹凸像とエバネセント光による像を同時に測定した。図3(a)は力勾配が一定になるように探針を制御して得られた凹凸像である。図3(b)は、エバネセント光によって探針に働く力勾配の像である。半導体探針としては、Sb ドープの導電性 Si 探針を用いた。両方の像で、プリズム表面に密に積み上がっているラテックス球を認識できるが、凹凸像とエバネセン

ト光の像は必ずしも一致しない。例えば、領域①、②は、両方の像においても周辺より高くなっている。しかし、領域③は凹凸像では周辺より高くなっているが、エバネセント光の像では周辺より低くなっている。また断面図において、ラテックス球の位置に対応するように矢印をつけると、エバネセント光の像では矢印と矢印の間に谷間があることがわかる。このようなコントラストの相違は、現在のところ明らかではないが、ラテックス球の局所的な散乱効果の違いや局所的な光の干渉効果によると考えられる。

物質近傍に局在する光（エバネセント光）を力の情報として検出できることが可能となった。さらに、探針に働く力だけでなく、探針からの散乱光強度やスペクトラム等を多角的に解析することにより、極微小空間での物質間のエバネセント光を介しての電磁相互作用に関する新しい知見も得られると期待される。今後の研究の進展に期待したい。

文 献

- 1) M. Abe, T. Uchihashi, M. Ohta, H. Ueyama, Y. Sugawara and S. Morita: Opt. Rev., 4 (1997) 232-235.
- 2) M. Abe, T. Uchihashi, M. Ohta, H. Ueyama, Y. Sugawara and S. Morita: J. Vac. Sci. Technol. B (1997) (in press).

(1997年6月16日受理)