

最近の技術から

表面プラズモン顕微鏡とローカルプラズモン顕微鏡

岡本 隆之

理化学研究所光工学研究室 〒351-01 和光市広沢 2-1

1. はじめに

表面プラズモンとは金属と誘電体の界面を伝搬する電子密度波であり、電磁波を伴う¹⁾。この表面プラズモンはプリズムあるいは回折格子などの結合器を用いることにより、光で励起でき、光と共鳴状態をとる。共鳴条件は金属および誘電体の屈折率に強く依存している。ここでは、著者らが開発を行ってきた表面プラズモン顕微鏡²⁻⁴⁾について述べる。本顕微鏡は試料表面の屈折率分布や膜厚分布、表面形状などを測定するものである。最初に平面部分の表面プラズモン共鳴を用いた顕微鏡、次に、微小な金属球に局在化される表面プラズモン共鳴を用いたローカルプラズモン顕微鏡について述べる。

2. 表面プラズモン顕微鏡

図1に表面プラズモン顕微鏡の概略を示す。頂角 60° のプリズム (屈折率 1.8785)、厚さ 55 nm の銀薄膜、誘電体試料 (屈折率はプリズムより小さい) からなる系において、プリズム側からの p 偏光ヘリウムネオンレーザー (波長 632.8 nm) によるエヴァネッセント波の波数が銀薄膜 - 誘電体試料界面の表面プラズモンの波数と一致したとき、表面プラズモンが励起され共鳴が起きる。このとき反射光のエネルギーは著しく減衰し、反射率の

角度分布にディップを生じる。この角度 (共鳴角) は誘電体の屈折率に強く依存する。したがって、共鳴角を測定することにより、誘電体の屈折率を高感度で知ることができる。本顕微鏡では共鳴角を測定するために、角度スペクトル幅の広い収束光を用い、反射光を 1 次元イメージセンサーで検出した。これにより、高速で共鳴角の検出が可能になった。試料はパルスモーター駆動の XY ステージに固定し、プリズムと共に 2 次元走査した。検出信号からの共鳴角の検出および試料走査の制御はパーソナルコンピュータにより行った。図2にガラス基板に設けた多モード光導波路の断面の屈折率分布の測定結果を示す。試料の走査は XY とともに $1\mu\text{m} \times 200$ ステップである。図中の左側の段差が基板表面に対応し、屈折率の高い部分が光導波路である。

3. ローカルプラズモン顕微鏡

表面プラズモン顕微鏡の空間分解能は表面プラズモンの伝搬長 (上記の実験条件で約 $30\mu\text{m}$) で決まる。さらに分解能を向上させるためには、伝搬長のより短い表面プラズモンを用いる必要があるが、その場合ディップ形状は広く浅くなり、測定精度が低下する。また、分解能はレーザーのスポット径より小さくなることはない。この問題を解決するため、ローカルプラズモン共鳴を用い

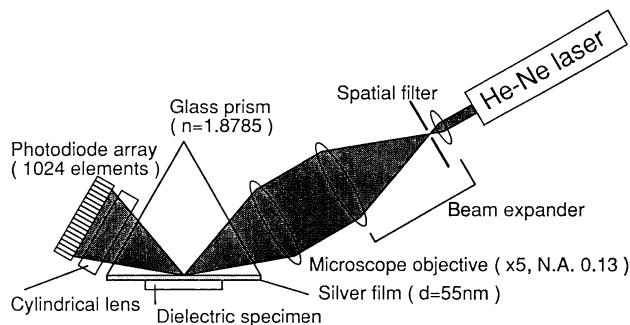


図1 表面プラズモン顕微鏡の光学系

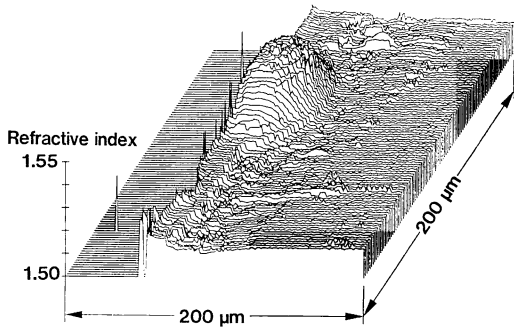


図2 光導波路の断面の屈折率分布

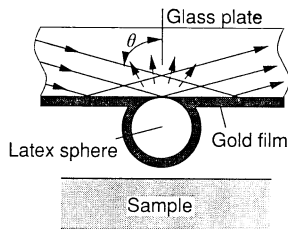


図3 微小金属球を用いたプローブ

た走査型近接場顕微鏡を開発した。この顕微鏡では微小金属球におけるローカルプラズモン共鳴を用いており、面内の分解能は波長より小さく金属球の径で決まる。図3に微小金属球を用いたプローブを示す。このプローブは Fischer ら⁹⁾によって考えられたもので、スライドガラス上の直径 87 nm のポリスチレンラテックス球に厚さ 20 nm の金薄膜を蒸着したものである。アルゴンレーザー (波長 514.5 nm) からの p 偏光はガラス基板を全反射しながら伝搬し、エヴァネッセント波として球に照射される。このプローブを誘電体試料に近づけていくと、ある距離 (数~数十 nm) において平面基板部分で表面プラズモン共鳴が起き、励起されたプラズモンが金属球によって再輻射される。その結果、金属球からの散乱光強度が非常に強くなる (ローカルプラズモン共鳴)。この散乱光を走査型トンネル顕微鏡におけるトンネル電流に置き換えることにより走査型プローブ顕微鏡を

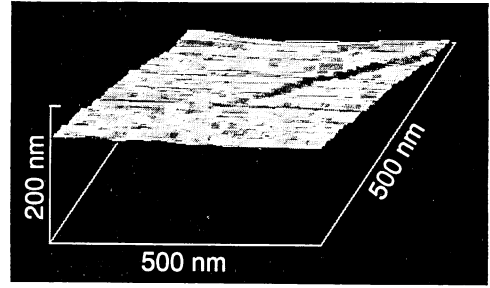


図4 レンズ表面の観測結果

実現した。本顕微鏡により観測したレンズ (BK-7) 表面を図4に示す。図の右上から左下にかけてレンズ表面の傷 (段差) が観察できる。この傷の大きさから本顕微鏡の分解能は高さ方向 5 nm、面内方向 30 nm であることがわかる。

4. おわりに

表面プラズモン共鳴を用いて誘電体試料表面の屈折率分布や表面形状を高感度、高空間分解能で測定する顕微鏡について述べた。表面プラズモン顕微鏡では、角度分布を測定することで定量的測定が精度良くできるようになった。ローカルプラズモン顕微鏡では波長以下の空間分解能を達成した。しかし、プローブ形状が平面であるため、対象となる試料は凸面に限られてしまい、操作性に問題が残る。今後プローブ形状を工夫することにより良い操作性が期待される。

文 献

- 1) H. Raether: *Surface Plasmons on Smooth and Rough Surfaces and on Gratings* (Springer-Verlag, Berlin, 1988).
- 2) 岡本隆之, 山口一郎: 光学, **19** (1990) 682.
- 3) T. Okamoto and I. Yamaguchi: *Opt. Commun.*, **93** (1992) 265.
- 4) 山本健二, 岡本隆之, 山口一郎: 第39回応用物理学会関係連合講演会講演予稿集 (1992) p. 809.
- 5) U. Ch. Fischer and D. W. Pohl: *Phys. Rev. Lett.*, **62** (1989) 458.

(1992年6月26日受理)