

4. エバネッセント光の検出装置の開発

システム工学技術系 川上 貴浩

1. はじめに

ナノ フォトニクス「Nano-photonics」とは、**近接場光**（エバネッセント光）を取り扱いこれを応用する分野である。近接場光とは、微小物質表面に滲みだした**非伝搬光**であり、伝搬光にはない以下に述べる多くの新しい機能（応用）を実現する可能性を持つ。

- ・波長を超えた（波長より短い領域の）光計測
 - ・分子機能の解明
 - ・リソグラフィ・光メモリーの超高密度化
 - ・量子デバイスの評価・開発
- などが考えられ、このエバネッセント光を検出する装置開発について報告する。

2. エバネッセント光について

誘電体（プリズム）中を伝搬する平行光線が、平坦な空気との境界で全反射するとき誘電体の表面に現れる波であり、境界面から遠ざかるにつれて指数関数的に減衰する（非伝搬光なので見る事が出来ない）。

レーザー光をプリズムに入射させ、そこに、プローブ（微小物体）を近づけていくとエバネッセント場が乱され、その一部は**エバネッセント光**（伝搬光）に変換される。

エバネッセント光は表面状態に強く依存するので、エバネッセント光を検出することで、誘電体－空気界面の**物質や物性等**を光学顕微鏡以上の高解像度（ただし、解像度はプローブに依存する）で評価できると考えられる。

3. エバネッセント波の検出方法

マイクロカバーガラス（18×24mm $n=1.522(488\text{nm})$ ）にAgを50nm（Alで15nm）真空蒸着し、マッチングオイル（ $n=1.522(488\text{nm})$ ）で90度プリズム（ $n=1.522(488\text{nm})$ ）に貼り付け、光源としてアルゴンレーザー（Ar 488nm TEM00 10mW）を用い、反射率が最小になる角度（表面プラズモンの共鳴励起角度）にプリズムを回転し合わせる。この時、エバネッセント波のしみ出し深さが最大となる。（最大発光が得られる）

実体顕微鏡で蒸着面とプローブの距離を15 μm 以内にマイクロメーターで近づける。一方の接眼鏡に光導入の光ファイバーを取り付ける。

ピエゾ素子で徐々に蒸着面にプローブを近づけながら（最小step3.66nm/bit）測光していく。

4. 装置について

①微弱光検出装置（フォトンカウンティングシステム）

光量が弱くなり離散したパルスとなると、パルスを平均化した直流電流より

もパルスを数えるフォトンカウンティングが、S/Nや安定度の点で優れた測定が行えるため採用した。

- ・ヘッドオン型光電子増倍管 浜松ホトニクス R649
(感度波長 300nm-850nm)
- ・フォトンカウンティングボード 浜松ホトニクス M3942
(最大カウント 10^9)
- ・フォトンカウンティングユニット 浜松ホトニクス C3866
- ・マルチ出力安定化電源 浜松ホトニクス C3830
(出力電圧範囲-400~-1500V 最大電流 1.0mA)

②ナノメートルオーダーのプロープ制御 (0nm-15 μ m)

piezo素子 (PZT) を用いることにより 0~15 μ mプロープを移動させる。制御はコンピュータで行う。このために、12bitD/A コンバータを用い、分解能は15 μ m/12bit=3.66nm/bitとなる。

- ・ piezo素子 PI社 P-841.10
- ・ piezoコントローラ PI社 E-610
- ・ A/Dコンバータ アドテクシステム AB98-06B

③分光器

- ・ 分光器 分光計器 CT-10/M10
(明るさ f3 回折格子 1200 本、ブレイズ波長 500nm step0.1nm/pulse)

④プロープ

STM に用いられる PtIr プロープを使用、また、自作 W プロープ (ϕ 0.5mm) 及び Pt プロープ (ϕ 0.3mm) も使用

- ・ STM用 Platinum-Iridium プロープ DI社 PT8MM

⑤光源

- ・ アルゴンレーザ uniphase社 2011-10SL
(488nm TEM00 10mW)

5. エバネッセント光の検出装置の試作

非伝播光であるエバネッセント光の検出装置 (ブロック図) を図 1 に、プリズム部を図 2 示す。

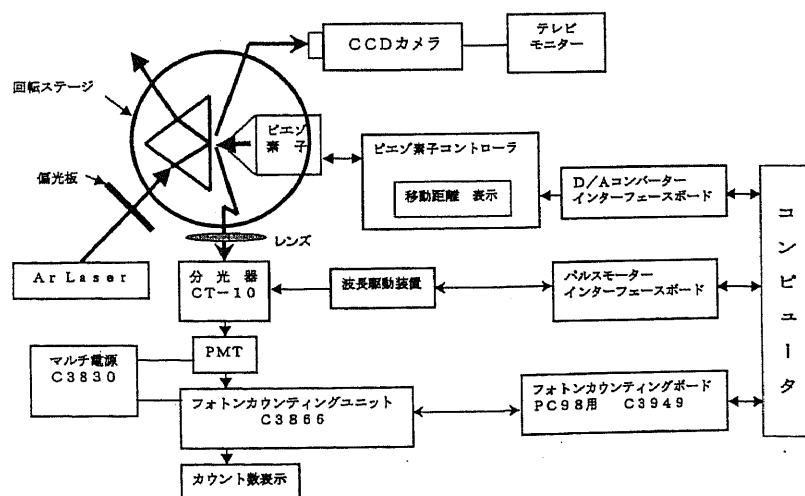


図 1 検出装置ブロック図

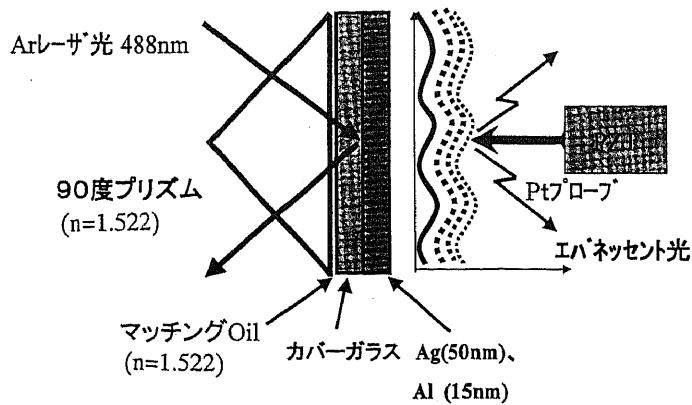


図2 プリズム部

6. エバネッセント光の検出

Ag (膜厚50nm), Al (膜厚15nm) 薄膜を用いて、エバネッセント波 (場) の中に、プローブを挿入することによりエバネッセント光の検出を試みた。

- ① 自作のWプローブでは、表面に薄い酸化膜ができていると考えられ、エバネッセント光は測定できなかった。
- ② STM用のPtIrプローブを用い、プローブに何も付着させない励起波長の測定ではAg, Al薄膜とも散乱光 (10^7 CPS ただし $Ag \gg Al$) が大きく検出できなかった。
- ③ Al薄膜を用い発光効率の良い蛍光物質 $\{Cd_xO_yS_{1-(x+y)}\}$ (発光波長653nm) を付着させ以下のような結果を得た。(図3)

しかし、何回も繰り返し測定すると、先端部が丸くなり発光強度が低くなる。

光強度vs移動距離に対して、レーザー波長以内 (500nm) で指数関数的に減衰しておりエバネッセント光を検出することができたと考えられる。

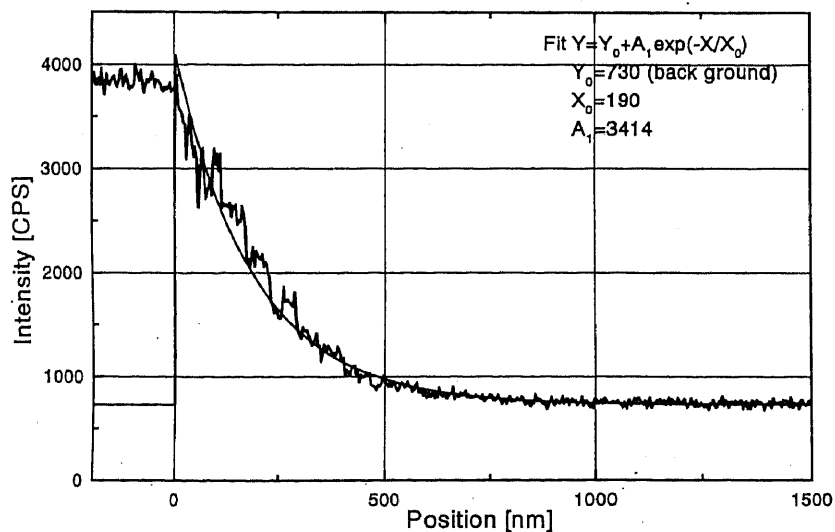


図3 エバネッセント光検出結果

7. 今後の課題

I. エバネッセント光検出が光学系に依存しており、安定した測定ができない。光学系を改良し、散乱光の影響を少なくするために発光部のみを拡大する必要がある。また、Potomalのバックグラウンドやノイズが大きいため捕らえにくいので、デジタルロックインアンプ、PMT冷却装置が必要である。

II. レーザ光が不安定のため時間的変動がある。安定化電源が必要である。

III. Ag薄膜の散乱光が大きく、散乱光の少ないAlを用いることにより肉眼でも観察可能となった。しかし、Ag薄膜は、エバネッセント波のしみ出し深さが一番大きいので、表面の粗さをおさへ、散乱光を少なくする方法を今後検討する。

IV. プローブは繰り返し使用することにより劣化する。先端部を蒸着面に接触させないようにプログラムを変更する。

V. 現在1方向(Z軸)のみの測定であるが、今後PZTをX, Y, Z軸で制御させ、表面構造を解析できるシステムにする。

8. 謝辞

装置の開発・評価にご指導いただいた電気電子工学科 金子双男教授、加藤 景三助教授、新保 一成助教授、機能材料工学科 小林敏志教授、ならびに茨城工業高等専門学校 若松 孝講師に心から感謝致します。

また、開発・測定などで協力してくれた電気電子工学科 金子研究室 中野 貴之君に心から感謝致します。

プローブの製作にあたり、情報を提供していただいた機能材料工学科岩崎正行技官に心から感謝致します。

画像処理などにご指導いただいた情報工学科石渡 宏基技官に心から感謝致します。

9. 参考文献

- 1) 大津元一・河田聡：“近接場ナノフォトニクスハンドブック”，“オプトロニクス社”
- 2) 応用物理学会誌 1996Vol. 65No1. 2-11
- 3) 応用物理学会誌 1998Vol. 67No12. 1404-1405