

微弱信号分光に於けるノイズ環境の一例について

松山英治

筑波大学数理物質科学等支援室 (物性・分子工学専攻)

〒305-8573 茨城県つくば市天王台 1-1-1

概要

顕微分光を用いて、表面の微細構造や分子レベルでのダイナミクスを調べる走査プローブ顕微鏡 (SPM) 技術が急速な進歩を見せている。筆者は、分光の要素技術の開発と分光解析の結果に影響を及ぼす要因の研究を行っている。特に、微細構造を分光する際、検出器の信号対雑音 (S/N 比) に影響を与える装置周辺の環境問題を調べている。その中から今回は、分光装置で取り扱う特定な波長領域での雑音状況について報告する。

1. はじめに

近年の顕微分光の急速な進歩は、検出器の感度の向上に大きく依存してきた。現在使用されている検出器は、ナノ (n) からピコ (p) ワット (W) の微弱な信号を取り扱っており、更に先端の技術はサブミクロン以下の超微細な分光分析も可能にしている。しかしその一方で、この検出器の感度の向上は、目的信号以外の、周辺の種々雑多な電磁妨害波 (EMI) も合わせて検出し、分析上の障害になっている。EMI の多くは、動力電源からの電磁放射、放送電波、携帯無線電話等の通信電波であり、実験室内にも存在する。更に、分光器の制御解析用パソコンから発生する高周波も EMI である。実験室内では、観察されるスペクトルに、EMI の信号とサンプル本来の信号が混在している。高感度分析では、EMI の侵入経路を把握し、消去する事が極めて重要である。

2. 装置と測定法

2.1 装置

今回使用した装置は、スペクトラムアナライザー、低雑音前置増幅器及び、プローブから構成されている。スペクトラムアナライザーは、高周波 (RF) 信号を周波数領域で捉え表示する測定器である。低雑音前置増幅器は、小さい RF 信号を増幅する装置で、プローブは、小さい RF 電波を受け取るアンテナの役割を持つ物である。

2.1.1 スペクトラムアナライザー

マイクロ波帯の受信感度に優れたスーパーヘテロダイン方式の走査型スペクトラムアナライザー (MS62B3、MS2687B、アンリツ製、感度: -155 dBm) を使用した。

2.1.2 低雑音前置増幅器

波長帯と増幅度に応じて以下の装置を使い分けた。(1) MH 648A (アンリツ製) (2) ZFL-500LN (ミニサーキット製) (3) ZEL-0812LN (ミニサーキット製)。



図 1. スペクトラムアナライザーと低雑音前置増幅器

2.1.3 プローブ

プローブの大きさは、観測する波長に比べて十分に小さい。このことは、アンテナへの誘起電圧が小さくなり、高感度に設定された分光装置へのノイズ侵入経路を把握するのに適している。この発想の元に、ループ型プローブと短針プローブを考案し用いた

(1) ループ型プローブ

高周波ケーブルの先端に 10 mm φ の波長に対して小さいサイズの 1 ターンコイルの電極を取り付け、EMI 検出アンテナとして用いた。

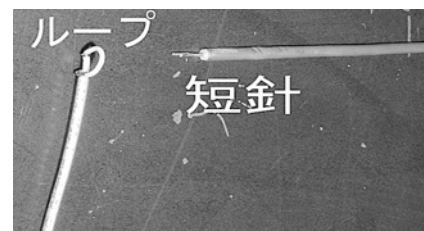


図 2. 各種プローブ

(2) 短針プローブ

高周波ケーブルの先端に長さ 10 mm の小さい電極を取り付け、EMI 探針アンテナとして用いた。又、接触探針プローブとしても使用した。

2.2 測定方法

研究室で、どのような妨害波が発生しているか、更に機器に対する妨害波の影響を以下の条件下で調べた。

実験室内の床から 1 m ほどの高さで、壁から約 1.5 m 離れた所に、プローブを三脚に取り付け、空間に浮かせた状態で設置した。プローブから 1 m 以上離れた所で観測した。測定場所は、三方壁がコンクリート構造の一般的な実験室で、電磁遮蔽対策はなされていない。窓には EMI を吸収しない遮光カーテンが設置してある。

分光器の感度、分解能に関わる設定は RBW により設定を行い、スペクトルの分布状態が把握できる条件を適時設定した。

設定項目 (1) RBW: 分解能帯域幅、分光器の解像度とノイズフローの設定をする。(2) REF: リファレンス、レベル、表示の上限カーソルの信号レベル。

(1) ループ型プローブによる分析

上記の条件下に設置された、プローブの近傍に存在する EMI を調べた。分光器の設定の条件は RBW: 100 KHz、REF: -60 dBm である。

(2) 短針型プローブによる分析

A. 上記の条件下に設置された、プローブの近傍に存在する EMI を調べた。分光器の設定の条件は RBW: 10 KHz、REF: -60 dBm である。

B. 光学台上のスタンドに、短針先端が光学台と垂直に点接触した状態で固定した。それ以外の条件は、上に準じた。プローブを装置の光学台の要所に接触させ EMI を調べた。プローブは金属製の光学台と塗装によって、絶縁されている。分光器の設定の条件は RBW: 10 KHz、REF: -60 dBm である。

3. 結果

3.1 ループ型プローブ

ループ型プローブ近傍の EMI (放送電波) のスペクトルが明確に計測された (図 3)。1500 MHz 近傍に情報通信の電波のスペクトルが計測された。計測された電波のノイズフローと EMI スペクトルの先頭値の比 (C/N) は最大で P-P 17 dBm の値が確認できた。ノイズフローは相対レベル、-85 dBm 付近にある。このループは 100 MHz から 1700 MHz に存在している EMI を高感度で検出することができた。

3.2 短針型プローブによる分析

A. プローブの近傍に存在する EMI

349 MHz に先鋭な EMI スペクトルが観測された (図 4)。その C/N は P-P 約 20 dBm、ノイズフロー -90 dBm である。分光器の分解能を上げ、上下 50 MHz の観測範囲の計測を実施したが、近くにスペクトルは観測できなかった。

B. 光学台に点接触した時の EMI

短針先端を光学台に接触した時に、349 MHz に大きな EMI の信号が観測された (図 5)。その C/N は 35 dBm ほどであった。ノイズフローは、-90 dBm ほどであった。又、上下 50 MHz の範囲にもスペクトルを数本確認することができ、C/N は約 10 dBm ほどであった。

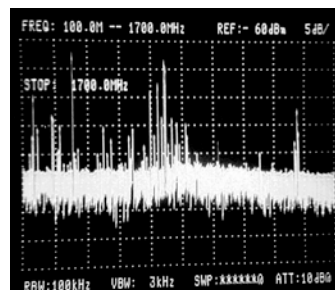


図 3. ループ型プローブ近傍の分析スペクトル

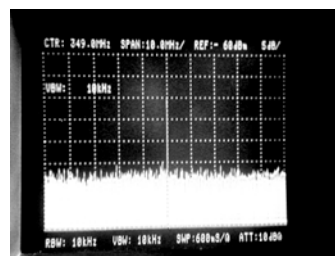


図 4. 短針型プローブ近傍の分析スペクトル

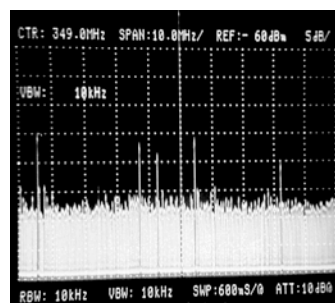


図 5. 短針型で光学台に接触した際の分析スペクトル

4. 考察

筆者は業務の一つとして、ESR-STM (電子スピンの情報を得るための走査トンネル顕微鏡)を用いて、検出感度の向上開発に取り組んでいる。EMI 実験の電波分光器の感度と観測周波数領域は、この ESR-STM の分光感度を再現した設定条件で行った。本実験に用いたプローブは、SPM の分析室で使用している電極を参考に、微小電極型を試作して使用した。

本実験で、ループ型 (図 3)、短針型 (図 4) 共に、プローブ近傍にある EMI のスペクトルを大きく検出した。微小電極でも RF は誘起電圧を生じ、高感度・高分解能分光器で測定すると、EMI のスペクトルが明瞭に観測された。このことから、EMI が存在する実験室で、高感度の分光器を使用すると、サンプル室の電極がアンテナとして動作し、EMI を計測することが危惧される。これがノイズの侵入経路の一つとなる。

光学台に接触させた時の EMI (図 5) は、短針近傍の観測 (図 4) と観測条件は類似するが、検出される信号の強度が大きい。光学台がアンテナとして動作して、接触点 (接触は点接触であり、絶縁されている) 付近の EMI が大きく計測された。また、短針近傍の観測では見えていなかった EMI スペクトルが多数計測された。このことは、電極片が絶縁された状況でも、光学台のような物が EMI に対してアンテナとして動作すると、近傍に存在するノイズの侵入経路となる事が推察される。

ESR-STM で観測されたパソコン (PC) からの高周波 (コムスペクトル) の混入経路は大変複雑なものである (図 6)。ノイズフローは -150dBm ほどである。図 7 に、分析に使用した ESR-STM サンプルステージの写真を示す。

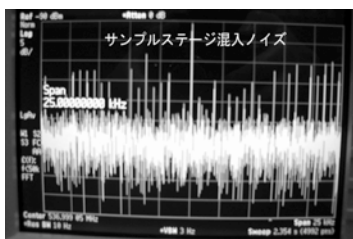


図 6. ESR-STM で観測された EMI
RBW: 10 Hz ノイズ P-P: 約 25 dBm

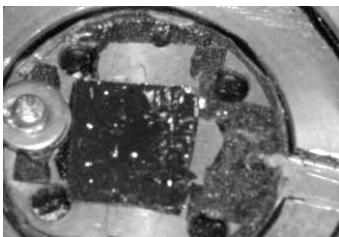


図 7. ESR-STM サンプルステージ

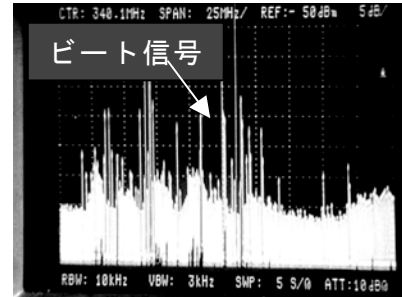


図 8. 光ビート法によるレーザ分光、EMI、
RBW: 10 KHz, REF: -50dBm

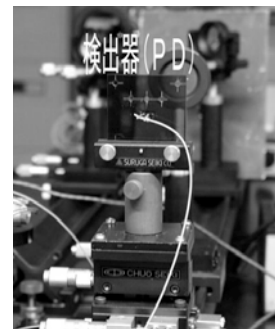


図 9. 実装の一例
光ビート法によるレーザ分光信号検出用
フォトダイオード

レーザ分光器の信号検出器内で観測された EMI は、 $C/N 35\text{dBm}$ で、ノイズフローが -80dBm 、光ビート信号のスペクトルが $C/N 20\text{dBm}$ と、大きく計測されるため、分光観測は可能であるが、EMI の除去が必須である (図 8)。ノイズの侵入経路として、フォトダイオード (PD) の電極や保持台が遮蔽されてなかったり、光学台を電気回路のアースに共用している事などがある。より嚴重な高周波に対する遮蔽対策の実施が必要と思われる一例である (図 9)。

5. まとめ

大学の多くの実験室内には、様々な在来電波が EMI として常に存在しており、高感度顕微分光装置のノイズ源になっている。微小電極から侵入するノイズは、電極の近傍に嚴重なシールドを施し、ノイズを低減することが大事である。観測される分光信号が大きくても、EMI スペクトルが観測されると分光の障害になり、感度向上の上限を制限する要因になる。観測者は周波数の分解能を上げ、放送や通信の電波は電波法に定められた仕様を用いて、更に EMI と分光信号の識別を行って観測を行う必要がある。EMI の混入が無ければ、より高解像度な分光が

可能になる。高い分光感度の実現に向け、より厳密なノイズ遮蔽を実施する必要がある。そのため、現在、装置の EMI 対策を工夫している。実験室全体を電磁遮蔽構造にすることが望ましいが、実現には経費等の面で困難な課題が多く、実現されていない。分光装置に対するノイズの侵入状況の測定とノイズ環境の計測は、極限感度の実現に向けた技術開発に重要な基礎的データを提供すると考える。

謝辞

分光装置のノイズ環境計測の実施に際し、筑波大学数理物質科学研究科 中村潤児教授、重川秀実教授、大井川治宏講師、武内修講師、システム情報工学研究科 根本承次郎教授の多大なご指導とご鞭撻に感謝いたします。

参考文献

- [1] 清水康敬 他編 電磁波の吸収と遮蔽
日経技術図書 (1989).
- [2] Y. Manassen et al., PRB 61 (2000) 16223.