

イメージング – 概要と測定原理

アプリケーションノート

著者

Dr. Ellen Miseo
Agilent Technologies, Inc.

はじめに

イメージングという用語は、聞く者によってさまざまな意味を持ちます。辞書の定義では、「物体の画像を作成すること」とされています。物理学の定義では、「なんらかのシステム (写真、動画、ファクシミリなど) を用いて、なんらかの形式による視覚的イメージを作成、記録、保存、伝送、表示すること」とされています。ワールドワイドウェブで検索すると、フィルムやデジタル写真、可視化、原子間力顕微鏡や電子顕微鏡、細胞学、レーダー、コンピュータセキュリティ、磁気共鳴イメージング、陽電子放出型断層撮影などのトピックスが出てきます。

イメージングという用語は、分野によって意味がさまざまに異なります。用語を調べてみるとわかりますが、各「イメージングテクニック」の実施方法はまったく異なります。赤外顕微分光法の分野内でも、「イメージング」という用語はさまざまなテクニックに使われています。このアプリケーションノートの目的は、「イメージング」のさまざまな実施方法を説明し、各テクニックの長所と短所を考察することにあります。



Agilent Technologies

技術の概要

可視画像

「イメージング」と呼ばれる赤外装置の多くは、サンプルの可視像を撮影できる機能を有しています。これらの装置では可視像が、フィルムまたはデジタル写真によって生成されます。ここで生成される可視像は可視画像であって、赤外線画像ではありません。

赤外線画像

赤外線画像の撮影も、一種のイメージングです。これらの画像は、短波長赤外線 (~1 ミクロン) に反応するフィルムまたは CCD を用いて撮影されます。波長に対する特異性はなく、フィルムまたは CCD チップに照射される光の全波長に対する全体的な反応から、画像が生成されます。

マッピング

分光分析では一般に、特定の波長に限定されたサンプル画像を得ることが目的となります。この画像を得るためのもっとも単純なテクニックは、「マッピング」測定です。これは、FTIR に取り付けられた顕微鏡の対物レンズの下で、モーター駆動ステージによりサンプルを動かし、アパーチャーやマスクを用いて測定領域を限定し、設定された複数の測定ポイントを 1 ポイントずつ測定をする手法です。この手法は、点描画法に似たものと考えることができます。点描画は素晴らしい手法ですが、短時間では完成しません。一般的にマッピング測定では、全てのデータを取得するまでに数十分から数時間を要することがあります。また、測定によって得られたデータは、ステージの移動距離により区切られたポイント (点) の形になります。

このマッピング測定には、多くの欠点があり、比較的効率の悪いものといえます。

1. 測定時間がきわめて長くなります (数十分から数時間)。設定した測定ポイントを順番に 1 ポイントずつ測定する必要があります。
2. 検出器の素子よりも小さいサンプルでは、以下の理由により性能が悪くなります：
 - a) 赤外光の受光面積が検出素子の一部分でしか行なわれない。
 - b) ノイズは受光面以外に検出素子全体から生じる。

3. 測定前に分析対象領域を視覚的に把握しておく必要があります。測定対象領域を把握できていないと、何度も測定を繰り返すこととなり、時間のロスが大きくなります。サンプルによっては、可視観察で視覚的に把握できない場合があります。
4. サンプルが時とともに変化する場合、サンプル分析結果が不正確なものになります。
5. アパーチャーまたはマスクの使用により、回折限界効果が高まり、空間分解能が低下します。

リニアアレイを用いたラインマッピング (ラスタースキャン)

特定の波長に限定された画像をもう少し効率的に構築できる手法が、ラインマッピング (ラスタースキャン) です。この手法は、テレビや CRT の原理に似ています。図 1 に示すように、検出素子を直線形に配置したリニアアレイ検出器を搭載する顕微 FTIR を用いて、空間的に分解されたスペクトルを取得します。その後、サンプルを正確に動かし (通常はモーター駆動ステージを使用)、第 2 のデータセットを取得します。サンプル全体をスキャンするか、ステージの移動範囲の終わりに来るまで、この手順を続けます。

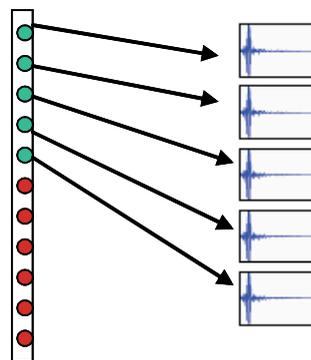


図 1. 1 度に 1 列ずつ、一連のインターフェログラムを取得します。サンプル全体のイメージを取得するには、サンプルを動かすためのステージが必要です。

このリニアアレイを用いたマッピング手法には、特定の波長に限定された画像を得るうえでの長所と短所が両方あります。この手法は、前述したシングルポイントマッピングよりも時間がかかりません。検出器に16個の素子が配置されていれば、1度に16ポイントのデータを取得できます。

一方、リニアアレイの各素子が10 x 10ミクロン領域のデータを取得し、かつサンプルの一边が160ミクロンの場合、16列のデータを取得(16回のタイムインターバルで画像を構築)する必要があります。FTIRにおけるスペクトルのシグナル/ノイズ比はスキャンの分解能と積算回数に比例するため、分解能またはシグナル/ノイズ比を高く(積算回数を増やす)すると、全体の測定時間は、1回のデータ取得にかかる時間の長だけではなく、その数字を16倍した時間も加算されます。1回の測定では、この時間差は問題にならないかもしれませんが、多くのサンプルを分析する場合、大幅に長い時間がかかり、生産性が低下するほか、分析コストも増加する可能性があります。

二次元アレイイメージング

特定の波長に限定された画像をもっとも効率的に取得できる方法が、赤外線感知カメラとFTIRを用いた画像の撮影です。この方法では、1回の測定で、すべての波長における二次元画像が得られます。これには、二次元アレイ(Focal Plane Array: FPA)およびFTIRを組み合わせた技術が用いられます。二次元アレイは、CCDと同様な赤外線検出素子を二次元に配置した検出器で、分析するサンプル領域のすべてのポイントでスペクトルを測定します。この測定では、すべての波数でスペクトル情報を同時に生成します。これにより、サンプル上のすべてのポイントのスペクトルが、同時に取得されます。

サンプルは二次元に配置された素子全体で測定され、各検出素子が「グリッド」の役割を果たし、それぞれの素子がスペクトルを取得します。1回のスキャンで、全素子のスペクトルが効率的に取得できます。図2にこの仕組みを示します。

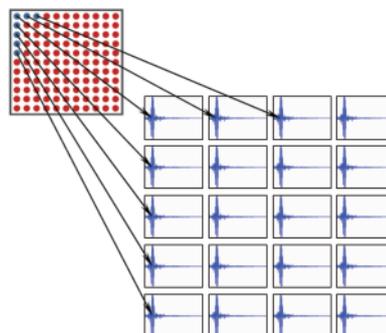


図2. 二次元アレイ(FPA)のすべての検出素子でインターフェログラム(またはスペクトル)が同時に取得されるので、64 x 64 FPAを用いる場合、2秒未満で4096スペクトルを取得できます。

二次元アレイイメージングには、以下のような利点があります：

- 通常のマッピング測定では得られない高分解能画像。
- 高速データサンプリング。一回の測定で二次元平面の複数ポイントのデータを同時に取得。
- 高い空間分解能(～5ミクロン)。
- 高いシグナル/ノイズ比(各検出器素子が素子の全面で受光)。
- すべてのピクセルからフルスペクトル情報を取得可能。
- 数秒から数分単位の測定時間。これにより生産性が向上し、製品発売までの時間が短縮され、分析コストが削減されます。

考察

前述の3つの手法は、どれもサンプルの画像を構築することができます。しかし、ユーザーにとって重要となるのは、効率と測定時間です。以下の表1に、160 x 160ミクロンの領域を測定するのに必要な理論上の測定時間を示します。理論上の測定時間は、一定の分解能および同じスキャン回数の条件において、1ポイントまたは1データセットの測定が1分として算出をしています。

この計算では、測定時間に影響を与える各種の要因は考慮していません。単素子検出器のマッピング測定では、サンプルが検出器の素子サイズよりも小さい場合、シグナルが検出器の一部のみから生じる一方でノイズは検出器全体から生じるため、性能が悪化します。

表 1. 各イメージング手法を用いた 160 x 160 ミクロンの測定に要する理論上の測定時間

手法	サンプルサイズ (μm)	検出素子サイズ (μm)	空間分解能 (μm)	測定点数 (全領域)	測定時間 (分)
マッピング	160 x 160	250	10	256	256
リニアアレイマッピング	160 x 160	25	6.25	16	16
二次元アレイイメージング	160 x 160	5.5	5.5	1	1

サンプルの分析対象領域のマスクングには、通常はアパーチャーが用いられます。そのため、サンプル全体で同じシグナル/ノイズ比を得るためには、アパーチャーを必要としない二次元アレイとは異なり、たいいていは各ポイントで数倍の積算回数を設定する必要があり、測定時間は積算回数を増やした分だけ長くなります。

リニアアレイマッピングでは、検出素子の全面で受光をするため、マッピングに特有のノイズの問題はなくなります。この場合、ステージの移動という別の要因を考慮に入れる必要があります。各データの取得後、ステージを正確に次のポジションに移動させる必要があります。この移動には時間がかかり、十分に較正された精密なステージが必要となります。ほとんどのステージメカニズムはオーバーシュートコンポーネントを備えており、通常見積もられるエラーは 1~2 ミクロン程度です。ステージを次のポジションへ正確に移動させるのにかかる時間を控えめに 15 秒と見積もると、前述の測定全体で 20 分かかるとになります。それでも、きわめて長い時間です。

表 2 に、前述の余分な時間を考慮に入れた測定時間を示します。

表 2. 各イメージング手法を用いた 160 x 160 ミクロンの実際の測定に要する理論上の測定時間

手法	サンプルサイズ (μm)	検出素子サイズ (μm)	空間分解能 (μm)	測定点数 (全領域)	測定時間 (分)
マッピング	160 x 160	250	10	256	3840
リニアアレイマッピング	160 x 160	25	6.25	16	20
二次元アレイイメージング	160 x 160	5.5	5.5	1	1

結論

サンプルの赤外線画像を取得する方法は数多くあります。これまでのところ、もっとも効率的で正確なイメージング手法は、サンプル全体の二次元スナップショットの撮影です。

二次元アレイイメージングは、時間や生産性の向上という利点があるほか、最小限の時間かつ最高のシグナル/ノイズ比で精度の高い画像を得られる最良の方法といえます。

このアプローチは、透過、反射、全反射 (ATR) といった一般的なすべての測定手法とともに使用できます。アプローチ自体も、材料科学、食品、製薬、生物学などの幅広いアプリケーションに対応できます。

www.agilent.com/chem/jp

アジレント・テクノロジー株式会社
© Agilent Technologies, Inc., 2005, 2012
Published December 3, 2012
Publication Number ftir125JAJP



Agilent Technologies