

# 分光測定用マルチチャンネル検出器とソフトウェアの開発

Raymond Pini

## 要旨

ジョバンイボン社(JY)では、研究開発現場を対象とした各種の分光測定用マルチチャンネル検出器を製作販売している。これらは、さまざまなニーズに応えられるように、液体窒素冷却、ペルチェ冷却、検出素子サイズなど多様な設計が施されている。これらは、グレーティングや分光機器の分野で世界のトップを走るJYの高い技術と信頼性に裏付けられている。本稿では、InGaAs近赤外線アレイ検出器Spectrum One、汎用CCDアレイ検出器Symphony、そして、これらを統合・管理するソフトウェアSynerJYを紹介する。

## 1 はじめに

ジョバンイボン社(JY)の分光機器事業部(Optical Spectroscopy Division: OSD)は、世界的な分光機器製造のスペシャリストである。その製品ラインナップは、検出器、分光器、ソフトウェアなど分光計測システム構築に必要なあらゆるコンポーネントをカバーしている。我々のお客様は常に革新的な計測技術を探し求めている。一緒に仕事することを通して市場ニーズをいち早く捉え、それを新たな製品開発へとフィードバックする。このサイクルを繰り返すことにより製品分野が拡大し、お客様の新たなニーズに常に対応できるようになる。

## 2 InGaAsアレイ検出器 Spectrum One

JYは可視分光計測用として多数のアレイ検出器とその応用機器を開発してきた。シリコンをベース材料とする検出器の感応波長領域は、シリコンが持っている物性によって1.1 μmより短い波長に限定される。一方、電気エネルギーへの変換効率(量子効率)が低下する短波長側は、アレイ検出器に発光性の膜をコーティングしたり、オープン電極のような加工を施すことによって、紫外線にも感応するようになる。

これらのデバイスは高性能で市場に十分に定着している。半導体や電気通信分野市場が拡大し、技術内容がより高度になるに従い、光ファイバー、光源、半導体、その他の関連材料の近赤外領域(NIR)における分光特性への

の興味が増大している。例えば、波長分割多重通信(WDM)で使われるエルビウムを添加した光ファイバー増幅器がある。これは、1.5 μmの光を放出するもので、これらのデバイスの研究開発を支援するために、JYでは、NIRの分光測定用の超低雑音のInGaAsリニアアレイセンサIGA-3000シリーズを開発した。

### 2.1 IGA-3000シリーズ

IGA-3000シリーズは、高感度、広ダイナミックレンジ、高S/N比、高安定性の近赤外線アレイ検出器である。この検出器は、光チョッパを使わずに多重化できる点が、シングルチャンネル検出器に比べて非常に有利である。光伝導型検出器や光電子放出型検出器で微弱な近赤外線を検出しようとする、光チョッパやロックインアンプを用いて、光変調と位相の検出が必要となる。IGA-3000の大きな利点は、これらの周辺機器を必要としないことである。

IGA-3000は、光量が少ない場合に特に適しており、次のような分野で使われている。

- NIRラマン分光測定
- フォトルミネッセンス測定
- プラズマの診断
- 発光分光測定
- NIRレーザーダイオード、光フィルタ、光源などの特性評価
- 光ファイバーの透過特性評価

## 2.2 検出素子ピクセルサイズの影響

アレイ検出器、グレーティング、分光システムの組み合わせを選択する際には、検出素子の各ピクセルの大きさがスペクトル分解能を決める大きな要素の一つとなる。モノクロメータのスリット幅と同じようにピクセルの幅が分解能を左右する。つまり、ピクセルが小さいと分解能が高くなる。InGaAsアレイ検出器は、当初ピクセル幅が50  $\mu\text{m}$ だったが、その後25  $\mu\text{m}$ の加工が可能になり、焦点面のピクセル数が2倍になり、分解能も2倍に向上した。

InGaAsリニアアレイ検出器は、ピクセルサイズ以外にも量子効率が高い(最大85%)ことが特長で、信号を正しくかつ効率よく検知し、微弱スペクトルを測定する分光分析用として理想的な検出器である。

## 2.3 検出器の冷却

JYではInGaAsアレイ検出器として、液体窒素冷却型(LN<sub>2</sub>)と小型電子冷却型(TE)の2種類を用意している。この検出器はNIRに敏感であり、熱電子放出が重要な課題となる。冷却することによってこの雑音を低減することができる。しかしながら、デバイスを冷却すると有感領域の長波長端が1ケルビンあたり約1 nm短波長側へシフトしてしまう。つまり、雑音と感応波長はトレードオフの関係にある。このため、検出器の温度を計測目的に合わせて最適化することが重要となる。

## 2.4 S/N比

InGaAsリニアアレイ検出器は、直線状に並べたフォトダイオードとCMOS読出しマルチプレックス回路から成り立っている。微弱光の高精度分光計測では、InGaAsアレイ検出器のいろいろな雑音発生源を理解しておくことが重要である。

個々のInGaAsフォトダイオードはそれぞれ独立した容量性インピーダンス変換型前置増幅回路に接続されており、バイアス電圧がピクセルごとに少しずつ異なる。この小さな差が、「固定パターン雑音」として知られている繰り返し生じる雑音の原因となる。この雑音は、積分時間と動作温度とに強く関連しており、電子冷却または液体窒素冷却により低減させることができる。幸い、この固定パターン雑音は再現性が高く、スペクトル測定と同じ積分時間でバックグラウンドを計測し、これを引き算することにより雑音成分をほとんど取り除くことができる。

測定システム全体の雑音源としては、暗電流、読み出し、固定パターン、ショットノイズなどすべてが含まれる。雑音の発生機構、検出器の仕様、そして測定系を明確に把握することが、アレイ検出器の性能を比較する際に重要となる。

## 3 CCDアレイ検出器 Symphonyシリーズ

### 3.1 Symphonyシリーズの特長

Symphonyシリーズ(図1)は汎用CCDアレイ検出器で、コントローラ、モジュール、プラグ・アンド・プレイ式の検出ヘッドから構成されている。検出器は小型パッケージにマウントされており、優れた感度と高速性、低雑音、丈夫さ、耐久性を持っている。また、用途に応じてアップグレードすることも容易で、かつ高い信頼性を持っており、お客様に最高の成果を提供できる。



図1 CCDアレイ検出器 Symphony

### 3.2 コントローラ

Symphonyのコントローラは非常に低雑音で高速のデータ収集機能を持っており、測定者に最適の結果を最小の時間で提供する。コントローラにより、X-Yビニング\*1パラメータや測定エリアの選択・保存、更には、ゲイン及びADCモードの選択が簡単にできる。測定タイミングもトリガーオプションを使うと、ハードとソフト両方の制御が可能である。このコントローラは、新しいアレイセンサや電子部品が開発された場合には、内蔵の拡張スロットを使って容易にバージョンアップすることもできる。

\*1: 複数ピクセルの信号電荷を加算することで、解像度は低下するが、ダイナミックレンジは広がる。

Symphonyは、TCP/IPを介してすべてのデータをコンピュータに高速転送することができる。更に、システムの作動状態を常に監視できる自己診断機能も内蔵されている。

### 3.3 AD変換速度と信号処理

研究用のCCD検出システムの多くは16ビットのアナログ・デジタル変換器(ADC)で作動させている。SymphonyコントローラのADCサブシステムは、実験に求められるS/N比とデータ読み出し速度とを考慮して、AD変換速度を20 kHzから1 MHzまでの範囲で変化させることができる。

一般に、AD変換速度が遅いとS/N比が高くなり、速くなるとデータ転送が速くなる。非常にわずかの光信号を扱う場合には、CCD自体の読み出し雑音が主な雑音源となる。このような時には、最高性能を発揮させるために、AD変換速度を20 kHzに設定する。一方、画像など大量データを転送するような場合には、簡単な操作で最大1 MHzを選択することができる。

Symphonyは、非常に精密な分光測定にも耐えられるように設計されている。コントローラは、読み出し雑音をほとんど理論的に可能な最低レベルにまで押えている。従って、計測システム全体の雑音源は、データ収集回路ではなく、CCDチップからの雑音により左右されることになる。

### 3.4 検出ヘッド

雑音の発生源には、検出器の熱的性質に起因する成分もある。この雑音は、CCD検出器を冷却することにより大幅に低減させることができる。精密な測定用としては、液体窒素(LN<sub>2</sub>)を使うことにより高い冷却性能を得ることができる。冷却温度を調整できる電子冷却装置(TE)は、高い性能が必要になるにも関わらず液体窒素が使えないような場合に適用する。

## 4 統合型ソフトウェアSynerJY

SynerJYは分光測定用に開発された汎用のデータ収集・解析ソフトウェアである。このソフトにより、測定プロセスの管理、ハードウェアのパラメータの設定、データの収集・分析、更にプレゼンテーション用資料の準備などが可能になる。

図2にSynerJYの表示画面を示す。

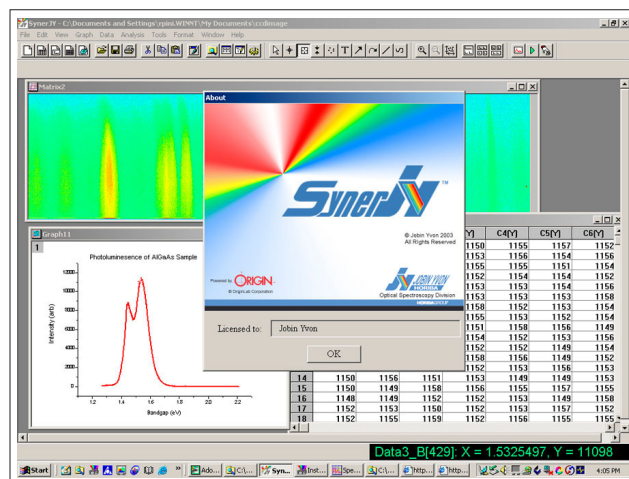


図2 統合型ソフトウェア SynerJY

### 4.1 分光装置の統括・制御

SynerJYは、JY製分光計測システムの能力を最大限に活かすためのソフトウェアである。ユーザは、グレーティング・ターレット、スリット、シャッターなどすべてのコンポーネントを制御したり、サンプルや検出器を選択するために入射ミラーや出射ミラーを変更することができる。

また、SynerJYは、Symphony CCD検出器の性能を十分に活用できるように設計されている。最高のS/N比を得るために、積分時間やエリア選択、X-Yビニング、ゲイン調整、AD変換速度等のパラメータをリアルタイムに、すばやく調整することができる。

更に、SynerJYは異なる検出器の同時制御も可能で、シングルチャンネル検出器とマルチチャンネル検出器の両方からのデータを収集し、解析することができる。1台の計測システムを使って、CCD検出器で紫外から可視領域のデータを収集し、その後、シングルチャンネル検出器で赤外領域のデータを収集することができる。また、Signal Algebra機能により、基準フォトダイオードからの信号を使ってスペクトルを補正することもできる。Signal Algebra機能とは、データ収集中にデータ間の演算を直感的にわかる方法で実行する機能のことで、生のデータから算出された結果だけを簡単に表示することができる。

## 4.2 特長的な機能

### (1) データ処理・プレゼンテーション

SynerJYは、スペクトル演算、ピーク検出、カーブフィッティング、スムージング、微分、積分、ベースライン減算、ピーク・デコンボリューション、内挿、スペクトルの編集やつなぎなどの演算処理ができる。また、データの表示は、演算結果の重ね合わせ、三次元グラフ、等高線図、画像表示などができる。更に、ライン幅やスタイル、色を指定したり、ピークや軸、グラフにラベルを付けたり、コメントを追加するなど、表示のカスタマイズが可能である。また、ピークの選択やラベリング、ズーム、データ選択などの機能も備えている。

### (2) データの入・出力

SynerJYは、市販の汎用アプリケーション・ソフトにも幅広く対応しており、SpectraMaxやDataMax SPCファイル、更にExcel™やASCII、Origin™形式のファイルを読み込むことができる。また、Bitmap (\*.BMP)、JPEG (\*.JPG)、Adobe (\*.PDF)を含む17種類のフォーマットで画像データを取り出すことができる。

### (3) カスタマイズ可能なソフトウェア

SynerJYはモジュラー型のソフトウェア・プラットフォームとして開発されており、この基本アーキテクチャを利用してお客様自身がカスタムソフトウェアを作ることができる。これにより、JYの分光システムをより大規模な実験システムと統合したり、非常に特殊な計測ソフトを作ることができる。標準的なプログラミング手法を用いて、測定データをExcelやOrigin等の共通のソフトウェアプログラムに統合させることもできる。

このように、SynerJYソフトを利用すれば、装置のことを気にせずに、測定そのものに集中することができる。

## 5 おわりに

JYの分光機器事業部は、最高の品質、最高の性能の分光システムを構築するための機器をラインナップしてきた。一方で、光学分野の発展と共に、必要とされるコンポーネントの種類と数もまた限りなく増加し続けている。今後とも、更に技術を磨き、お客様のニーズに合った製品をタイムリーに提供していきたい。



Raymond Pini

Jobin Yvon S. A. S  
Optical Spectroscopy Division  
Applications Manager