

## 最近の技術から

# シンクロトロン放射のパルス性の応用

三 谷 洋 興

分子科学研究所 〒444 岡崎市明大寺町西郷中 38

### 1. はじめに

シンクロトロン放射 (SOR) とは光に近い速度で円運動している電子から放射される電磁波のことであるが<sup>1)</sup>, そのスペクトルが軟 X 線から可視光領域にわたって広く分布していることが特徴的である. 時間分解スペクトル分光用の光源として SOR を利用する最大のメリットは, この特徴にあらう. ほかに, 指向性が良く時間的にも安定した光であること, 全波長領域で偏光していること等, いろいろ優れた特性をもっている. しかし, パルス時間幅が数百ピコ秒に限定されることや分光器を通して単色化するとその絶対強度が弱くなってしまふ事実を考えれば, パルス光源としての SOR はレーザーパルスと対比させて捕えるよりもむしろ相補的なものとして活用すべきものであらう.

### 2. SOR の波長および強度特性

実際に SOR を利用する際には, その使用目的に応じて適切な分光器あるいはフィルタを選択することが最も肝要である. その一つの具体例として, 1 m 瀬谷-波岡型分光器を用いた場合の射出相対強度の波長依存性を図 1 に示した. この分光器にはブレイズ波長の異なる 2 枚の回折格子が組み込まれており, 高次の回折光や迷光の少ない状況の下で可視から真空紫外光領域の光が利用できるように設計されている. このデータは分子科学研究所極端紫外光実験施設の電子ストレージリング<sup>2)</sup>を用いて得られたものであり, そのリング電流が 50 mA 程度である際には入出口スリットを 1 mm (分解能: 約 1%) とすると, 射出光子数は約  $10^{10}$  photons/s となる. 平常のリング運転時 (リング内に 16 個の電子のかたまりが約 100 MHz の高周波で加速されているとき; マルチバンチ運転時) では, 光パルス列の間隔は約 11 ns であり, 1 パルス当たり  $10^8$  個の光子数しか含まれない勘定になる. したがって, パルス実験においては, 以下に述べるような単一光子計数法が最も有用な測定手段となる. より多くの光子数を望む場合には, 分光器を用いないで

直接にフィルタを用いるか, あるいはリング内に設置されたアンジュレータ<sup>3)</sup>を利用するのも一策であらう. より短波長の光が必要なときは, 斜入射分光器, さらにウイグラからの光に対して結晶分光器等を用いることになる<sup>2)</sup>.

### 3. SOR のパルス特性

図 2 には, 単一光子計数法による時間分解スペクトル解析装置のブロックダイアグラムを示した. 基本的には通常のレーザー分光蛍光スペクトル測定装置に用いられているものと同じである. 時間差波高変換器 (TAC) のスタートパルスとして試料からの信号, ストップパルスにはリングの高周波加速信号を用いている. 後者の信号は, 高周波信号を ECL 素子によって 1/16 に分周し, さらに DBM (double balanced mixer) を通して再度高周波信号によってゲートをかけたものである. これによって, 周期が約 170 ns のきわめてジッターの少ないストップパルスが得られる. この周期はちょうど単一バンチ運転時の周期に相当しており, 長寿命の時間特性を調べるためには不可欠なものである. また, 速い時間応答性を確保するために, 受光素子としてマルチチャンネルプレート内蔵型光電子増倍管 (浜松ホトニクス社製 1564 U 型) を使用しており, 装置全体としての時間分解能は約 30 ps 程度になっている. 実際に, この装置を用いて分光器からの光の波形を求めてみると, マルチおよび単一バンチ運転時には, それぞれ図 3 および図 4 のようになる. マルチバンチの場合にかなりのパルス波高のばらつきが見られるが, 各パルス波高値は時間的に非常に安定しており, 寿命測定のように同一の周期パルスのみを用いる場合にはこのパルスのばらつきは問題とならない. パルスの時間幅はバンチによって多少異なり 500~700 ps の値を示している. 図 4 のようにシングルバンチにすると, 時間幅も改善され, 約 450 ps の安定したパルスが得られている. このパルスを寿命測定に用いる際には, 他バンチによる残留パルスが問題とされるが, 分子研のリングでは残留パルス成分比を 1/1,000 以内に押え

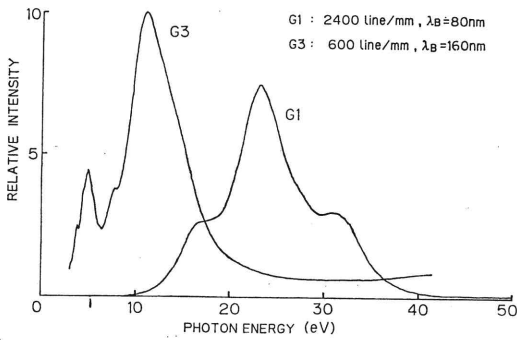


図 1 1 m 瀬谷-波岡型分光器からの出射光のエネルギー依存性

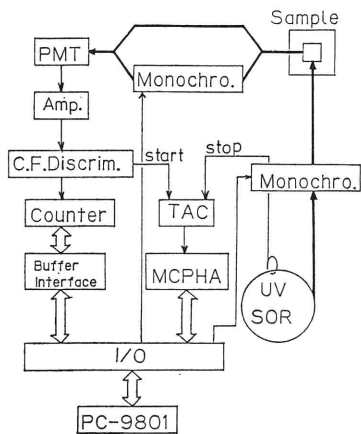


図 2 時間分解スペクトル解析装置のブロックダイヤグラム

TAC: 時間差波高変換器, C.F. Discrim: コンスタントフラクショナルディスクリ, MCPHA: マルチチャンネルパルス波高アナライザー.

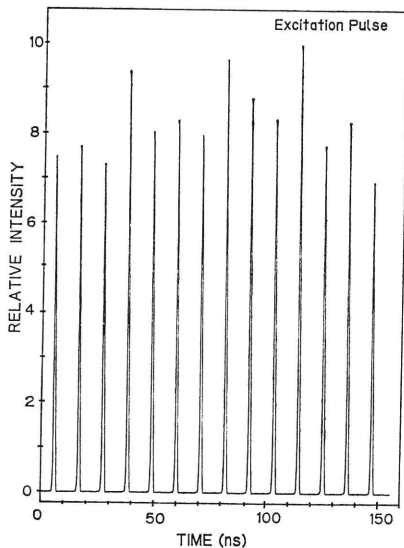


図 3 マルチバンチ運転時の SOR の時間依存性

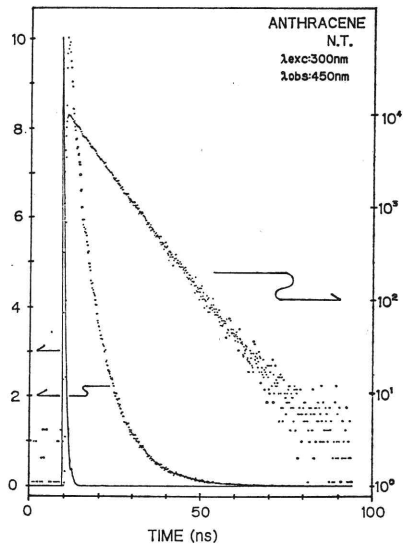


図 4 単一バンチの SOR パルス波形とアントラセン単結晶の蛍光減衰曲線 (線形および片対数表示)

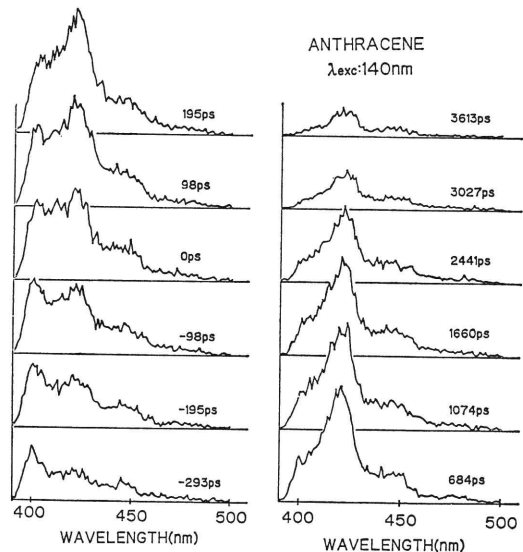


図 5 アントラセン単結晶の時間分解蛍光スペクトル (励起波長: 140 nm, 液体窒素温度にて測定)

図中の 0 ps は SOR パルス波形のピーク時に対応する。

ることに成功している。図示したアントラセン結晶の蛍光減衰曲線のように、4桁程度の寿命測定ができ、さらにデコンボリューション法を用いると 100 ps 程度の速い寿命測定も可能である。

## 4. そ の 他

ストレージングに蓄積された電子は約2時間の減衰  
常数でもって消失していく。この時間内に時間分解スペ  
クトル解析に必要な蛍光減衰曲線のデータを集積すると  
同時に、光の強度をモニタして記憶しておく必要がある。  
分光器の自動波長掃引を含めて、マイクロコンピュータ  
によるデータ処理は不可欠であるといつてよい。図5に  
は100点の波長での蛍光減衰曲線から求めた時間分解発  
光スペクトルの実例を示しておく。SORの特徴を活用

した時間分解励起スペクトルも同様に求められるが、紙  
面の都合上、文献を参照されたい<sup>3)</sup>。

## 文 献

- 1) H. Winick and S. Doniach: *Synchrotron Radiation Research*, 2nd ed. (Plenum Press, New York/London, 1982).
- 2) 渡辺 誠, 小野野猪之助, 関 一彦: "分子研 UVSOR とその利用", 真空, 28 (1985) 729-741.
- 3) 三谷洋興, 山中孝弥, 山崎 巖: 第41回物理学会講演予稿集 (1986) p. 226.

(1986年4月7日受理)