

核共鳴散乱ビームラインの概要

依田 芳卓

東京大学工学部*

Outline of the Nuclear Resonant Scattering Beamline

Yoshitaka YODA

Department of Applied Physics, Faculty of Engineering, University of Tokyo

核共鳴散乱ビームラインは核共鳴散乱 SG と表面界面構造 SG より成る。

核共鳴散乱は原子核の準位による共鳴散乱であり、これまで行われてきたメスbauer実験に輝度、偏光、時間の点で大きな発展と新たな自由度が期待できるばかりでなく、核共鳴散乱により得られる X 線はエネルギー幅が $10^{-6} \sim 10^{-8}$ eV と超単色であり、それに伴い可干渉距離は数 10 m にも及ぶため、超高分解能分光や X 線位相光学に新たな領域を開くと期待される。以下に計画されている実験を挙げる¹⁾。

(1) 非メスbauer実験

- X 線強度相関法の研究
- 超高エネルギー分解 X 線分光法の研究
- 干渉による核共鳴散乱のコヒーレンスの解析

(2) メスbauer実験

- 時間領域メスbauer一分光法の確立
- 非弾性核共鳴散乱を利用した分光
- 高速磁場変調による核共鳴散乱過程の研究
- 各種の共鳴核を含む核モノクロメーターの開発研究

表面界面においては、関わる原子数が極めて少ないため信号も微弱なものとなる。しかし第三世代の光源を用いれば表面界面のより詳細な情報のみならず、時間、温度、磁場、組成等の変化に伴う構造の動的変化の研究が可能になると期待される。またシングルバンチを利用すればより高速な動的変化の過程の研究もまた可能である。表面 X 線回折、X 線定在波法、反射率測定、散漫散乱、異常分散による散乱等を用いて、以下に挙げる対象の研究を計画している²⁾。

- 表面・界面構造
- 薄膜の構造
- 相転移、融解
- 転位、欠陥
- 結晶成長
- 表面界面の原子の運動
- 表面界面での化学反応
- 表面界面磁性
- 表面界面での非弾性散乱

* 東京大学工学部 〒113 文京区本郷 7-3-1
TEL 03-3812-2111 (内6828) FAX 03-5689-8257
e-mail yoda@kohsai.t.u-tokyo.ac.jp

光源

ビームラインはBL09INの位置に設置され、挿入光源には周期長32 mmの真空封止型水平偏光アンジュレータを用いる。このアンジュレータにより1次光から5次光で5.2 keVから70 keV程度までが利用可能で更に高次の光を用いれば80 keV程度までカバーすることができる³⁾。このエネルギー範囲のメスバウアー核は30種以上に及ぶが、表1にはその1例と自然幅あたりに含まれるフォトン数を挙げる。ただし、実際に得られるフォトン数は光学系でのロス、共鳴核の断面積、電子散乱によるノイズとの分離の程度等に依存して核種により大きく異なる。実験ステーションが置かれる光源から50 mの地点では 2σ にして水平方向1.9 mm、垂直方向0.6 mmのビームが得られる。

核共鳴散乱の時分割測定においては実験の種類に応じてシングルバンチモードもしくは少数バンチモードが選択できることが理想的である。等間隔の21バンチ(228 nsec 間隔)運転で9割程度、42バンチ(114 nsec 間隔)運転で6割程度の実験が実施できると考えられるので、マルチバンチモードユーザーの要求と合致するには、その際に強度も含めた光源のクオリティがマルチバンチモードと比較して保たれるかどうか見当する必要がある。一方、表面界面の実験の大部分はバンチモ

ードの制約はなく、強度が強い方が望ましい。

またバンチ純度は時分割測定では極めて重要であり、隣のバンチも含めた空のバンチへの電子の混入はメインバンチに比較して 10^{-8} 以下であることが望まれる。

光学系

フロントエンドおよび光学系は共同チームで開発された標準的な単色X線ビームラインに従う。定位置出射型のSi二結晶モノクロメータにより $\Delta E/E \sim 10^{-4}$ に単色化されたX線を実験ステーションに導く。実験の種類によりミラーを集光のために用いる。

実験ステーション

実験ステーションは $8 \times 4 \text{ m}^2$ の大きさで、2つの耐震定盤が置かれる。

上流の定盤では両側のゴニオメータから入れ子型に組み合わせた2つのチャンネルカットモノクロメータにより $\Delta E/E$ にして 10^{-6} から 10^{-7} の高分解能の分光を行う。例えば14.4 keVのX線に対して、Si422とSi1222の反射を利用した場合、エネルギー分解能は約6.3 meVとなる。各々のSiは1パルスが200分の1秒に対応する精密ゴニオメータで制御される。各ゴニオメータは平行移動によりモノクロメータを使用しない場合はビームを通すことができるように設計されている。Siを室温で使用した場合14.4 keVのX線に対し、0.1度の温度変化によりモノクロメータを出射したX線のエネルギーが3.7 meV変化してしまう。そのためステーション内は温度変動を0.1度以内に制御し、さらに定盤は対流の影響を除去し温度の安定性をさらに高めるためにプラスチックのハッチで覆う。上流の定盤にはエネルギーを精密に計測するためのボンド法やサブmeVの分光を行なうためのゴニオメータも置かれる。

下流の定盤には図1に示すように1パルスが

Table 1. Photon flux in the natural width for some of the Mossbauer isotopes that can be excited at SPring-8

Mossbauer isotopes	Energy (keV)	Natural width ($\times 10^{-8}$ eV)	Photon flux in the natural width (/sec)
181Ta	6.23	0.0067	7×10^3
169Tm	8.40	11.4	9×10^6
57Fe	14.41	0.47	1×10^5
119Sn	23.87	2.57	3×10^5
121Sb	37.15	13.0	5×10^5
127I	57.6	23.4	1×10^5
73Ge	67.03	24.7	3×10^4
197Au	77.34	24.3	3×10^3

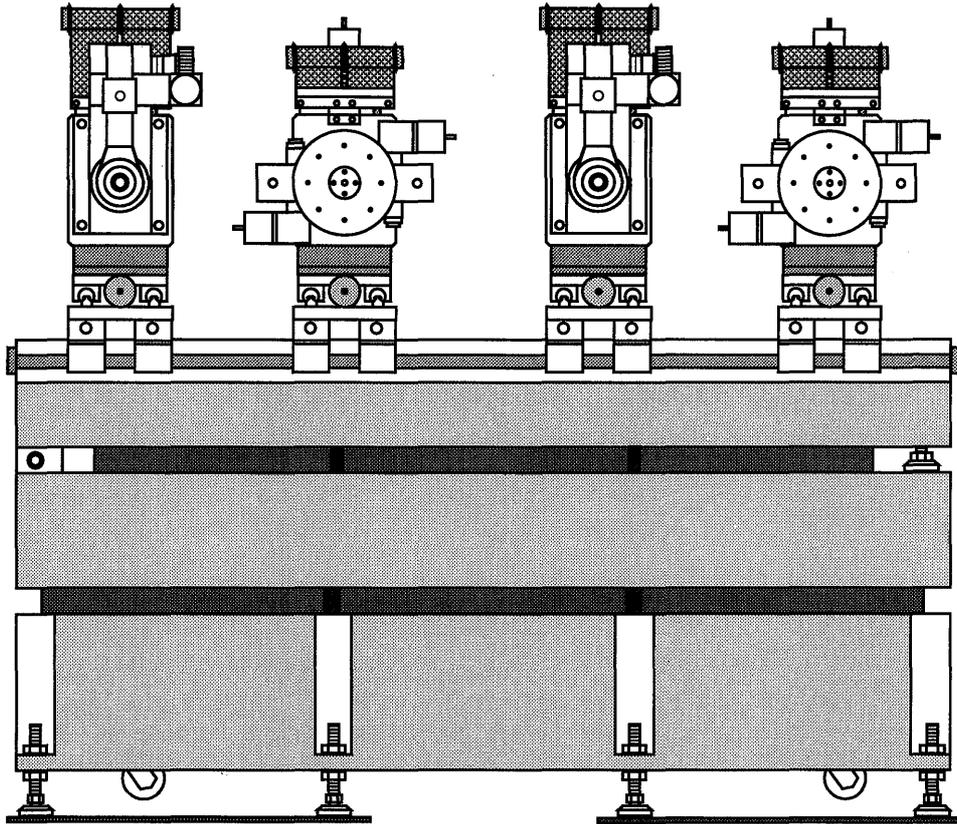


Figure 1. Schematic side view of the anti-vibrated table and high precision goniometers.

200分の1秒に対応する精密ゴニオメータと10000パルスが1度に対応する2軸の全周回転ゴニオメータが置かれる。これらには $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ などの核共鳴散乱素子や干渉計、ダイヤモンド・アンビルセルなどが実験の種類により取り付けられる。分離型の干渉計などのような精密な回折実験も行われるため上流と同様に下流の定盤もプラスチックのハッチで覆われる。

表面界面の実験には図2に示すような多軸回折計が下流の定盤に置かれて使用される。この回折計は併設案の主旨に基づき、核共鳴散乱に使用される偏光解析用のゴニオメータとZ軸、 ω -2 θ 軸、 χ 軸を共用しており、表面界面の実験用に多軸ゴニオメータヘッドと検出器の自由度を加えたものである。真空槽内に試料を置く形になっていないために界面の研究等、この装置では可能な実験は限られるが、真空槽等が必要な実験の場合は各自の装置を持ち込めるように定盤の後方に十分な空

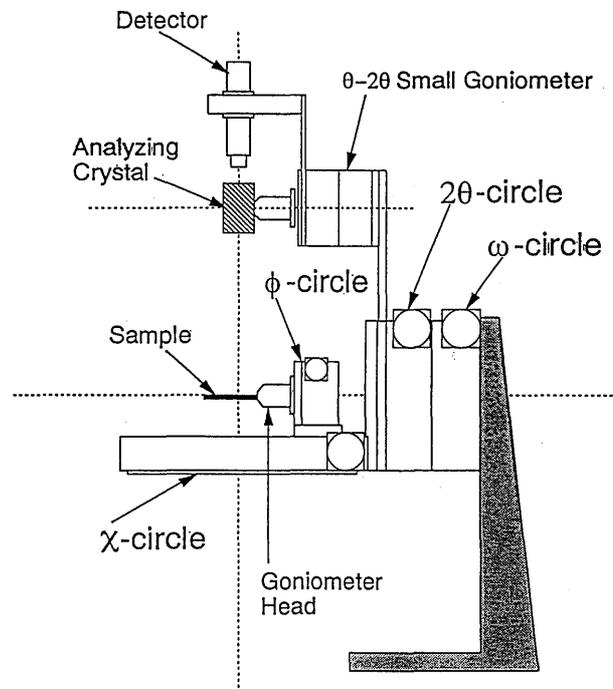


Figure 2. Schematic view of the multi-circle goniometer in the four-circle mode.

間がとられている。

おわりに

以上核共鳴散乱ビームラインの概要をざっと紹介させていただいたが、私自身の専門が核共鳴散乱であるために表面界面構造 SG の説明に不十分な点が多々あったと思うが御了解願いたい。またどのビームラインも事情は同じだと思うが、特に

表面界面 SG はユーザーも多く実験も多岐にわたるので早期の独立を希望して止まない。

文献

- 1) 泉 弘一：SR 科学技術情報 5, No. 7 14 (1995).
- 2) T. Takahashi: SPring-8 PROJECT SCIENTIFIC PROGRAM No. 2, 71 (1995).
- 3) 北村英男：SPring-8 スペクトル集 平成5年12月21日.