速度選別機を用いた熱中性子用高次波フィルター

加倉井 和久[¶], 奥村 肇^{1,†}, 温井 克行^{1,‡}, 阿曾 尚文¹, 中島 健次², 西 正和¹,
鈴木 浩二³, 渡辺 聡¹, 川村 義久¹, B. Betzold⁴, 佐藤 正俊^{5,¶}
(日本原子力研究所先端基礎研究センター,¹ 東京大学物性研究所,² 日本原子力研究所中性子利用研究センター,
³ アドバンスト・マシン工房, ⁴ Dornier Satellitensysteme GmbH, ⁵ 名古屋大学理学部, [¶]CREST)

Higher-Order-Filter Velocity Selector for Thermal Neutrons

K. Kakurai[¶], H. Okumura^{1,†}, K. Nukui^{1,‡}, N. Aso¹, K. Nakajima², M. Nishi¹,
K. Suzuki³, S. Watanabe¹, Y. Kawamura¹, B. Betzold⁴, M. Sato^{5,¶}
JAERI-ASRC, ¹ISSP-Univ. of Tokyo, ²JAERI-NSRC, ³Advanced Machine Workshop,
⁴Dornier Satellitensysteme GmbH, ⁵Nagoya Univ., [¶]CREST

反射率の高いグラファイト単結晶をモノクロメータやアナライザーとして用いる定常炉熱中性子 3 軸型分光器では同じ散乱条件でこれらの素子を通過する高次波の中性子が基本反射の強度とほぼ同程度になるエネルギー領域で比較的多くの実験が行なわれるために、この邪魔な高次波の中性子をどのように除去するのかが重要になってくる。熱中性子領域で一番一般的に用いられる手法は Bragg 散乱フィルターの pyrolytic graphite (PG) によるものであるが、この方法は 13.7, 30.5 meV 等の特定の波長のみにはしか有効でないという欠点がある。エネルギー分解能の甘い機械的な速度選別機を使用すれば原理的には連続的に任意なエネルギーをカバーするフィルターは考えられ、このような速度選別機を用いたフィルターは例えば Risø や Chalk River の中性子散乱施設でこれまでも開発されて来たが、技術的な理由から主に低エネルギー用であった[1]。しかし冷中性子領域には 5.2 meV 以下のエネルギー領域をカバーする Be-フィルターが存在するために、この機械的フィルターはこれまであまり積極的に使用されなかった。しかし最近の高温超伝導体を含む量子スピン系では、比較的広エネルギー領域にまたがる微弱な非弾性磁気散乱強度を観測するためには入射エネルギーの選択の自由度を増やし適切な分解能の選択がより必須になって来ていると思われる。そこで研究用原子炉の熱中性子領域で広範囲

Rotor length:	250 mm
Rim radius:	235 mm
Selector screw:	5.507 degree
Radius of beam center:	206.5 mm
No. of spokes:	160
Max. rpm:	13200
Effective beam cross section:	50 × 50 mm ²

表 1 Some characteristic dimensions and numbers of the HOF-VS

の波長領域に使用できる速度選別機型高次波フィルター (HOF-VS) を開発、テストしたのでここに報告する。

上記の目的を達成するために、以下のような仕様をゴールとして掲げた。

- 1) この高次波フィルターは約 1 から 2.5 Å の波長領域を連続的にカバーする。
- 2) 40' の発散度を持つ入射ビームを使用した時に、 $E_i=13.7$ 及び 30.5 meV の中性子エネルギーに対してフィルター性能、すなわち λ の透過率及び $\lambda/2$ の除去能力、が PG フィルター (PGF) のそれと同等かそれに優ること。

この 2 つの目標を目指して、当時 Dornier Satellitensysteme GmbH の H. Betzold 氏の協力のもとに検討を進めた結果、以下のような設計デザ

図 1 Design drawing of the HOF-VS

図 2 HOF-VS and its control unit

イン (図 1) の基に高次波フィルターが製作された. 表 1 に代表的な設計値が示されている. 図 2 は納入された速度選別機とその駆動及び制御装置の写真である.

このフィルターは B_4C と鉛板から構成される遮蔽箱に設置され, 炉室内 3 軸分光器のモノクロメータ遮蔽体ビーム出口に取り付けられた. 図 3 はこの ISSP-PONTA 分光器 (5G) に設置されたフィルターの前で完成を喜ぶ現場研究協力者の写真である.

図 4 はこのフィルターを通して測定した $\lambda = 1.6377 \text{ \AA}$ の波長を持つ中性子の強度を速度選別機の回転数に対してプロットしたものである. 図 5 には白丸でこのように求められた透過率のピーク位置の回転数と中性子の波長の関係を示してある. 実線は λ が 1/回転数に比例する式によるフィット結果で, 破線で表してあるデザイン仕様と良く一致している. この速度選別機の稼動回転領域が 5000 rpm から 13200 rpm であることを考慮すると, この装置が 1.07 から 2.82 $\text{\AA}$ の波長領域を連続的にカバーできることになる.

これ以降の実験ではこのフィルターの性能を PG フィルターのそれと比較するために, 試料位置に設置された Ge 単結晶のブラッグ反射を使用して, 40° - 40° - 80° - 80° のコリメーション条件の 3 軸配置で行なわれた.

λ の透過率の比較は入射エネルギー $E_i = 13.7$ 及び 30.5 meV における (111) ブラッグ反射を用いて実施された. 図 6a), b) はそれぞれのエネルギーで PG 及び速度選別機フィルターをビーム中に挿入した時の (111) ブラッグ反射強度を 5 mm のアテニューエーターを通して測定した結果である. $E_i = 13.7 \text{ meV}$ では両者の透過率がほぼ同じであること, そして $E_i = 30.5 \text{ meV}$ では速度選別機フィルターの透過率が PG フィルターのそれを約 1.5 倍上回ることが判る. また速度選別機フィルターの

図 3 HOF-VS installed on ISSP-PONTA (5G) spectrometer

図 4 Transmitted neutron intensity versus revolution at $\lambda = 1.6377 \text{ \AA}$

図 5 Relation between λ and revolution of the HOF-VS

λ 透過率が 13.7 から 64.5 meV の全領域でほぼ 70% に達することを確認した.

$\lambda/2$ の除去能力に関しては (1/2, 1/2, 1/2) の反射条件で散乱された中性子強度をそれぞれのフィルター有り, 無しで測定することにより比較した. 図 7a) 及び b) は $E_i = 13.7 \text{ meV}$ 及び 30.5 meV でフィルター無し, PG 及び速度選別機フィルターをビーム中に挿入した時の強度である.

この結果から PG 及び速度選別機フィルターの $\lambda/2$ の除去能力は

	PGF	HOF-VS
at 13.7 meV	5×10^{-4}	$< 5 \times 10^{-5}$
at 30.5 meV	7×10^{-3}	$< 2 \times 10^{-4}$

であると結論付けられる. 速度選別機フィルターの方が従来の PG フィルターより約 1 桁良い $\lambda/2$ の除去能力を持つことが明らかである.

図 6 Comparison of the transmitted beam through PGF and HOF-VS at E_i of a) 13.5 meV and b) 30.5 meV

図7 $\lambda/2$ suppression of PGF and HOF-VS at monochromator configurations for E_i of a)13.5meV and b) 30.5meV

またこの速度選別機の実行発散度は 1.86 度となり、これ以下のコリメーションを使用する限り、分光器の分解能に影響を及さないことも確認した。またこの実行発散度以内であれば、透過率をそれ程落とすこと無く速度選別機をビーム方向に対して回転させ、波長領域を変えることも可能である。例えば ± 1 度振ることにより有効波長領域を $0.86 \text{ \AA}$ から $3.54 \text{ \AA}$ まで広げることが可能であり、これで Be-フィルターが使用できる $3.97 \text{ \AA}$ 以上の領域とほぼ接するようになる。

この開発段階で問題点として残っているのは設置場所と信頼性であると思われる。ここではテスト段階における取り外しの簡易性を考慮して、速度選別機用の個別の遮蔽体の中に設置してモノクロメータ遮蔽体と試料の間に配置するように設計されたために、どうしてもモノクロメータ・試料間の距離を 1 m 近く伸ばさなければならなかった。それにより例えば 13.7 meV における速度選別機の透過率が PG フィルターのそれと同じであるにもかかわらず、設定可能なモノクロメータ・試料間の距離の違いから（速度選別機フィルター使用時: 200 cm; PG フィルター使用時: 135 cm）速度選別機フィルター使用時の強度の方が PG フィルター使用時に比べ約 63% になることがヴァナジウムの非干渉性散乱を用いて確認された。しかしこれは原理的な問題ではなく、速度選別機フィルターをモノクロメータ遮蔽体の一部として最初から組み込めば、解決できる問題と考える。信頼性に関しては高速回転体の部品が増えるので、定期的な、特に軸受けベアリングの、メンテナンスが必要になると思われる。このメンテナンスの

容易性及び設計上限られる許容ビーム高さを考慮すると、速度選別機フィルターの設置位置としては単色ビームが試料に集光される試料前が、放射線が高くビームの高さがもっとも高いモノクロメータ前の位置よりも適していると思われる。

以上の結果をまとめると、ここで実現された速度選別機フィルターは当初の性能目標を達成し、十分に実用に耐えられるものになっていると言える。すなわち一般の熱中性子 3 軸分光器でもっとも使用される波長領域の 1.1 から $2.8 \text{ \AA}$ を連続的にカバーして、従来使用されて来た PG フィルターの使用可能波長に関しても向上した性能を示すフィルターが製作されたことで、実験に最適化した入射エネルギーを自由に選択でき、3 軸分光器の自由度を更に広めることができるようになったと思われる。

熱中性子用の速度選別機型高次波フィルターの実証テストが行なわれたのはこれが初めてであると思われるが、この例に勇気づけられてか最近 FRM-II München に設計された 3 軸分光器 PUMA ではモノクロメータの前にこのような速度選別機型高次波フィルターが予定されている[2]。JRR-3 PONTA の速度選別機型高次波フィルターも上記の問題点を解決して、近い将来一般利用で使用できるようになる日が来ることを期待して、筆をおくことにする。

この開発は筆者の 1 人 (KK) が東大物性研中性子散乱研究施設に在職中に、1996-2001 年にかけて科学技術振興事業団戦略的基礎研究推進事業の研究領域「極限環境における現象」の課題「低次元異常金属の開発」の一環として行なわれたものである。名大佐藤研究室で事務を担当して下さった長瀬未奈さん、増田理奈さん、Dornier 社との仲介を努めて下さった Seiko EG&G の大沼、原両氏にこの紙面を借りてお礼を申し上げます。

Reference

- [1] <http://num.web.psi.ch/reports/2001/pdf/k03.pdf>
- [2] <http://www.frm2.tu-muenchen.de/puma/index.html>

Abstract:

The construction and installation of the Higher-Order-Filter Velocity Selector (HOF-VS) for thermal neutrons are reported. The test results show that the HOF-VS continuously covers the neutron wavelength range from 1.1 to $2.6 \text{ \AA}$ and its performances are as good as or even superior to the conventional PG filter. The variable tunability of the higher order suppression using this HOF-VS should lend an important additional flexibility in the neutron triple-axis spectroscopy.

† Present affiliation: Quantum Design

‡ Present affiliation: Fuji Photo Film Co. Ltd.