

話 題 II

熱および keV 領域中性子全断面積の測定*

武蔵工業大学 原子力研究所

相 沢 乙 彦

1. はじめに

本稿は過去約7年間の間に武蔵工大炉の水平実験孔を利用して行った中性子全断面積の測定についてまとめたもので、熱中性子領域は0.002~0.2 eV, keV領域は24, 54, 144 keVの3点である。

熱中性子領域の測定は、最初鉄¹⁾からスタートして、ジルコニウム²⁾, ニオブ³⁾, マグネシウム⁴⁾, ケイ素⁵⁾, モリブデン⁶⁾, アルミニウム⁶⁾, イオウと終了し、最近ゲルマニウム⁷⁾について測定を行った。

keV領域は、鉄フィルターを用いた24 keV単色中性子⁸⁾の実験からスタートし、シリコンフィルターによる144 keV単色中性子⁹⁾の実験、54 keV単色中性子¹⁰⁾の実験を終了し、現在は再び24 keVの単色中性子に戻してドップラー効果による温度依存性の測定¹¹⁾を行っている。

2. 熱中性子全断面積の測定

2.1 実験装置

チョッパー・TOF実験装置の実験配置図を第1図に示す。本実験孔は炉心を直接見ているので高速中性子混入の割合が多い。そこで実験孔内にシリコン単結晶を挿入して熱中性子のバンドパスフィルターとして用いている。第2図にシリコン単結晶の全断面積を示すが、これをもみても分る通り0.01 eV附近に全断面積最小値が存在し、約50 cm長のシリコンを挿入することにより、熱中性子成分は約1/3に減衰するが、高速中性子成分が約1/100に減衰することが実験的に確かめられている。

2.2 サンプル

測定に使用したサンプルの形状等を第1表にまとめて示す。物理状態の相違を比較するために、固体金属(インゴット), 金属粉末(100~200メッシュ), スラブ状(径3~10 mm)及び

* 本稿は、先の日本原子力学会 昭和60年年会の際の「核データ, 炉物理」合同特別会合の講演と同内容のものを執筆していたものです。(編集係)

クラッシュ状 (径 1 ~ 3 mm) のものを用い、これをサンプルホルダに封入してサンプルとした。

2.3 実験と計算の比較

計算は、THRUSH コード¹²⁾とUNCLE-TOMコード¹³⁾を用いて、第2表に示す物理定数を用いて行った。固体金属サンプルを用いて測定した結果を、第3図と第4図に示す。これを見ると全てのサンプルについて、カットオフエネルギー以下の非弾性散乱断面積は非常によく一致しているが、干渉性散乱断面積は全く一致していないことがわかる。これは、固体金属サンプルが完全な多結晶状態でなく、結晶構造が選択的に配向されている理由によるものと思われる。そこで次に多結晶状態を実現するため、粉末状サンプルを用いて測定したのが第5図である。

これを見ると、干渉性散乱断面積の構造がきれいに現われて、計算値ともよく一致していることがわかる。但し今度はカットオフエネルギー以下の非弾性散乱断面積の値が一致せず、これは現在のところ、粉末に含まれる非晶性成分のためか、或いは粉末に吸着された水分のためかはっきりしていない。そこでカットオフ以下については、固体金属サンプルの実験値を使い、カットオフ以上では粉末サンプルの実験値を使ってつないだグラフを第6~8図に示す。また最近行ったゲルマニウムサンプルによる実験結果と計算の比較を、単結晶サンプルならびに多結晶サンプルについてそれぞれ、第9図および第10図に示す。

3. keV 領域の全断面積の測定

3.1 実験装置

シリコンフィルターによる 54 keV および 144 keV 単色中性子引き出しのフィルター構造図を第11図に示す。イオウ・フィルターの厚さを変化させた時の波高分布の変化の例を第12図に示すが、チタンフィルターを取り去ってイオウフィルターを加えることにより 54 keV の単色中性子の割合が増えていくことがわかる。

3.2 データ処理と実験誤差

波高分布からデータ処理の1例を示したのが第13図である。この S_1 と S_2 の面積比から全断面積が決定されるが、その積分範囲を変えた時の誤差等の評価は以下の通りである。(1) 計数の統計誤差： $\pm 0.6 \sim 0.9 \%$ 、(2) 積分範囲を変えた時の誤差： $\pm 0.7 \sim 0.8 \%$ 、(3) バックグラウンド評価の誤差： $\pm 0.3 \%$ 、(4) サンプルの厚さおよび重さの測定誤差： $\pm 0.2 \sim 0.3 \%$ 、(5) モニタの計数誤差： $\pm 0.05 \sim 0.06 \%$ 、(6) 温度差に伴う密度補正の誤差： $\pm 0.4 \sim 0.5 \%$ 、以上合計で $\pm 1.0 \sim 1.4 \%$ となる。

3.3 結果と検討

ベリリウムと炭素についての常温での実験結果を第3表に、ニオブについての実験結果を第4表

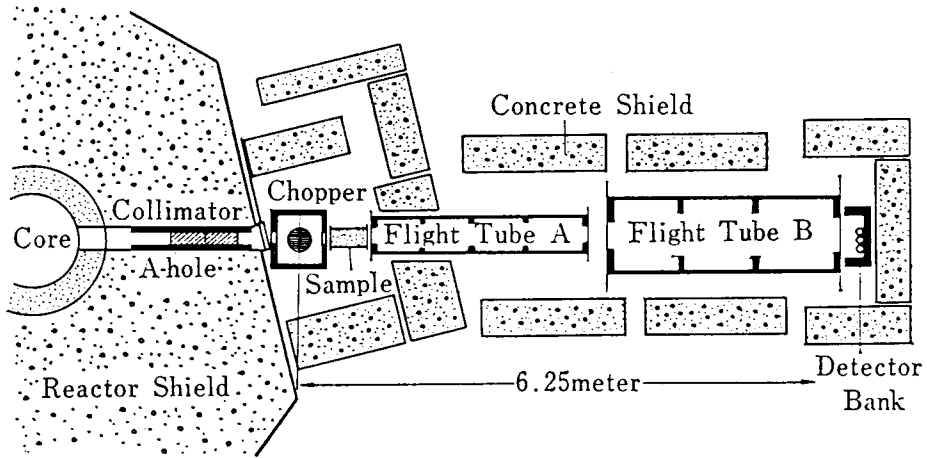
にまとめて示す。24 keV ~ 144 keV の範囲でベリリウムと炭素は共鳴領域ではないので、サンプルの厚さ依存性は現われないが、ニオブについては非分離共鳴領域となり、サンプルの厚さ依存性ならびにドップラー効果による温度依存性が生じていることがわかる。現在、サンプルの厚さ依存性と温度依存性については、U3Rコード¹⁴⁾を用いて解析を進めている。

参考文献

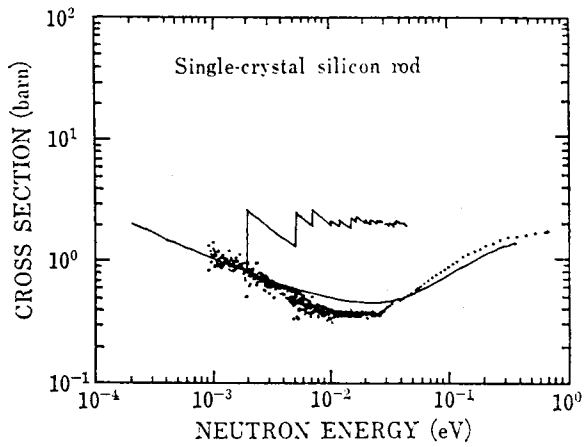
- 1) 相沢乙彦, 角谷浩享, 松本哲男, 「鉄の熱中性子全断面積の測定と計算」研究所報MI TR - 791, PP. 112-117 (1979).
- 2) 相沢乙彦, 角谷浩享, 松本哲男, 「ジルコニウムの熱中性子全断面積の測定と計算」同上, PP. 118-120 (1979).
- 3) 松本哲男, 角谷浩享, 相沢乙彦, 「⁹³Nb の熱中性子全断面積の測定と計算」, 研究所報 MI TR - 801, PP. 13-16 (1980).
- 4) 相沢乙彦, 角谷浩享, 松本哲男, 「マグネシウムの熱中性子全断面積の検討」, 研究所報, 通巻3号, ISSN 0285-0354, PP. 31-34 (1981)
- 5) 相沢乙彦, 角谷浩享, 松本哲男, 「単結晶および多結晶シリコンの熱中性子全断面積」, 研究所報, 通巻4号, ISSN 0285-0354, PP. 87-91 (1982)
- 6) O. Aizawa, T. Matsumoto and H. Kadotani, " Total Neutron Cross Sections of Mg, Al, Si, Zr, Nb and Mo in Energy Range from 0.001 to 0.3eV", J. Nucl. Sci. Tech., 20, PP. 713-721 (1983)
- 7) 末富英一, 相沢乙彦, 松本哲男, 角谷浩享, 「単結晶と多結晶ゲルマニウムの熱中性子全断面積の比較」, 日本原子力学会年会予稿集D 1, P. 165 (1985)
- 8) O. Aizawa, T. Matsumoto and H. Kadotani. "Measurements of Total Neutron Cross Sections at 24-keV by means of Iron-Filter Method", J. Nucl. Sci. Tech., 20, PP. 354-356 (1983)
- 9) 相沢乙彦, 松本哲男, 青木くみ子, 角谷浩享, 「144 keV単色中性子を用いた全断面積の測定」, 研究所報, 通巻6号, ISSN 0285-0354, PP. 93-98 (1983)
- 10) 相沢乙彦, 松本哲男, 青木くみ子, 角谷浩享, 「54 keV単色中性子を用いた全断面積の測定」研究所報, 通巻8号, ISSN 0285-0354, PP. 29-32 (1984)
- 11) 大枝 伸, 相沢乙彦, 角谷浩享, 「Filtered Neutron Beamを用いたNb の厚さおよび温度依存全断面積の測定」, 日本原子力学会 昭59分科会, B 39, P. 123 (1984)
- 12) H. Kadotani : JAERI -M- 8927 (1980)

13) S. Iijima : 私信

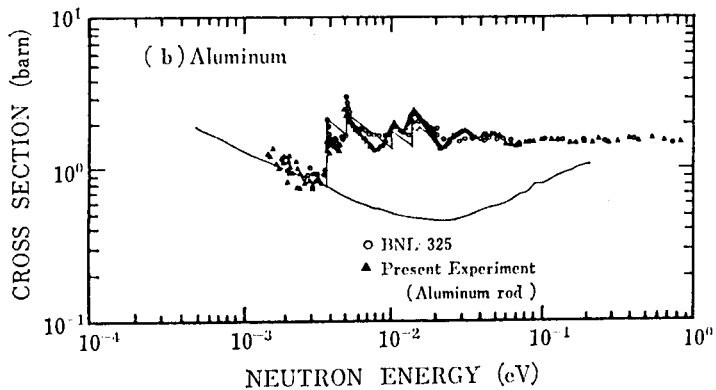
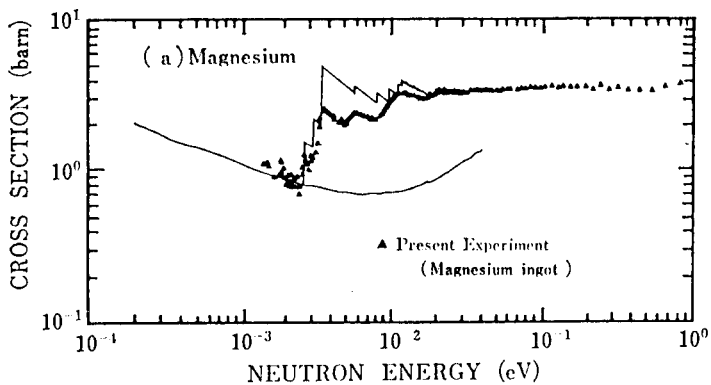
14) J. M. Otter, R. C. Lewis and L. B. Levitt, AI -AEC - 13204
(1972)



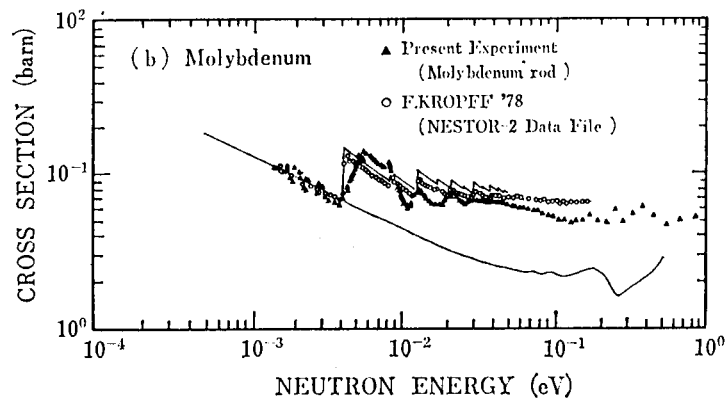
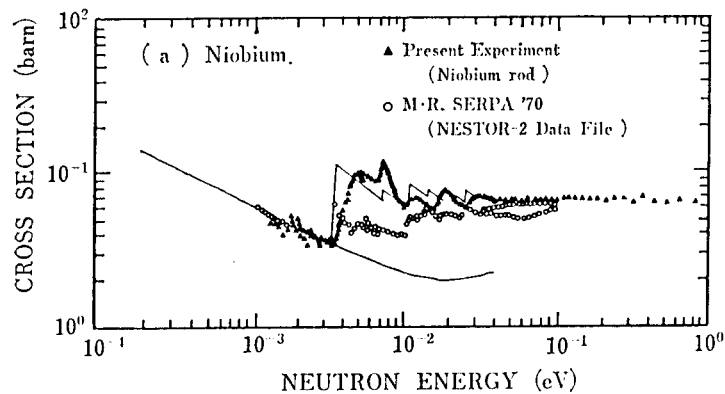
第1図 チョッパー・TOF 実験装置実験配置図



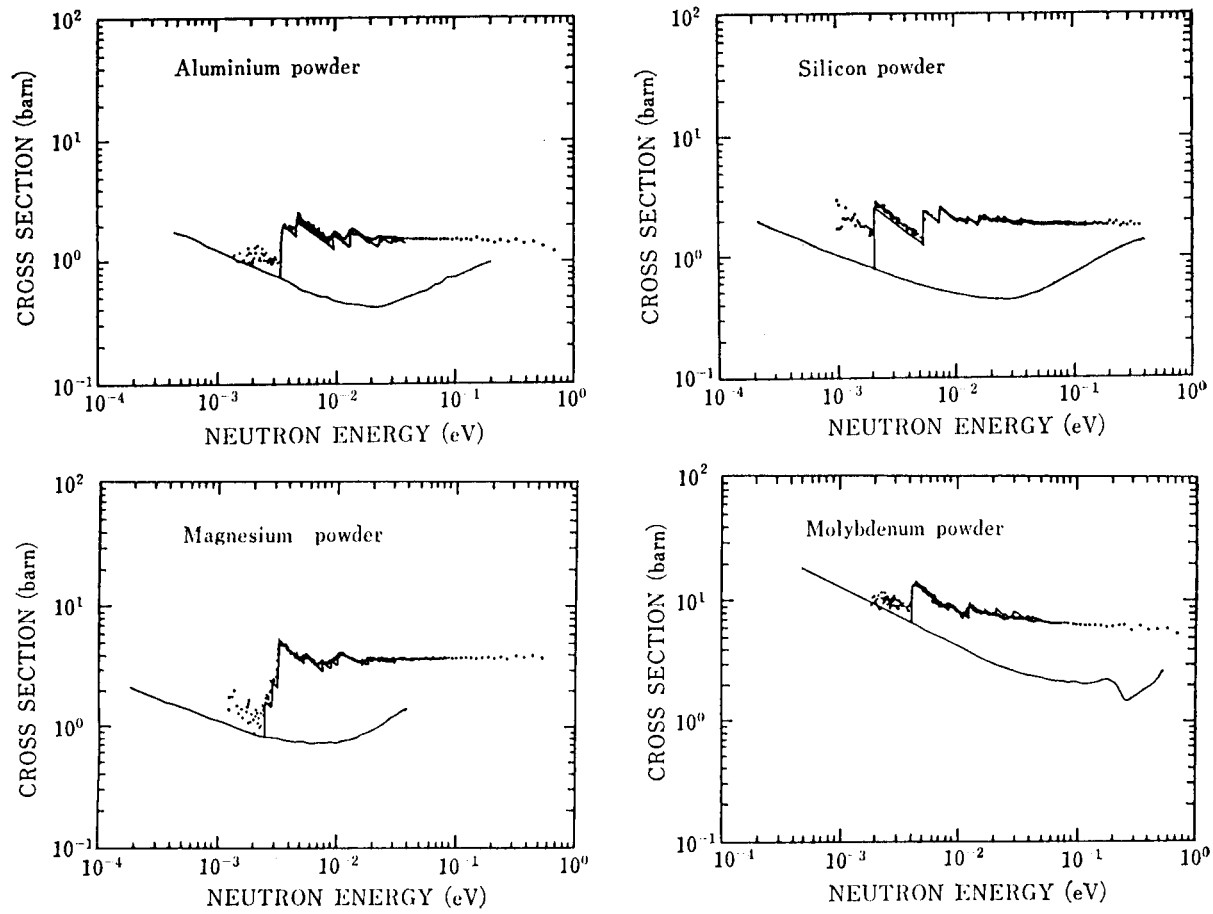
第2図 シリコン単結晶の全断面積



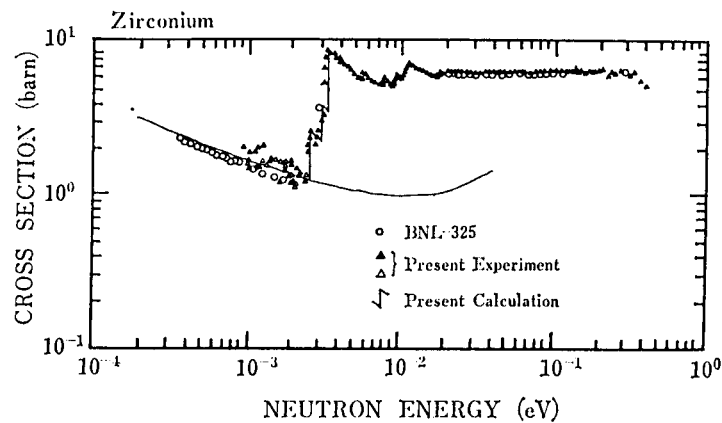
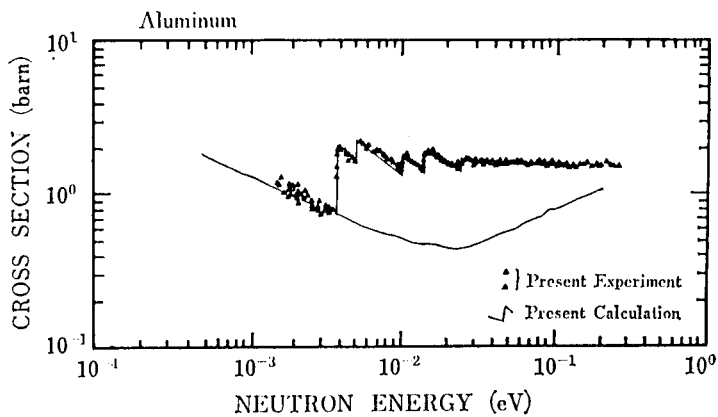
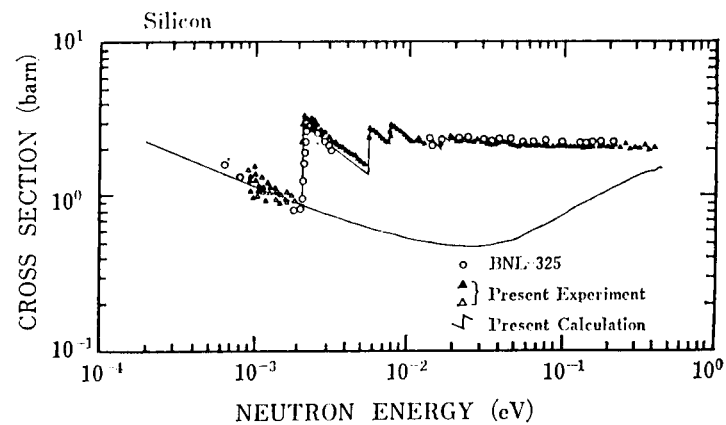
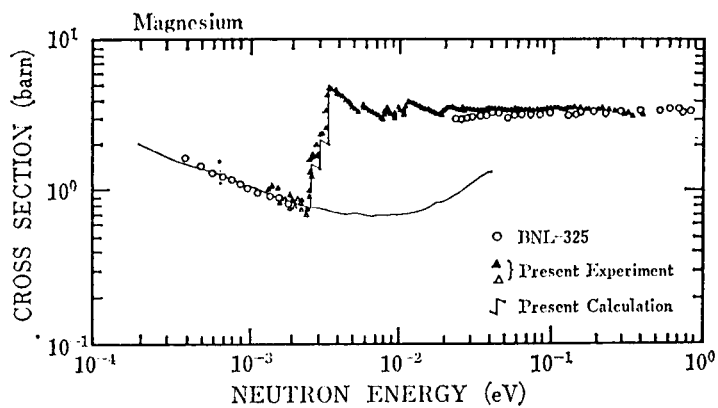
第3図 固体金属サンプルの測定結果 その1
(マグネシウムとアルミニウム)



第4図 固体金属サンプルの測定結果 その2
(ニオブとモリブデン)

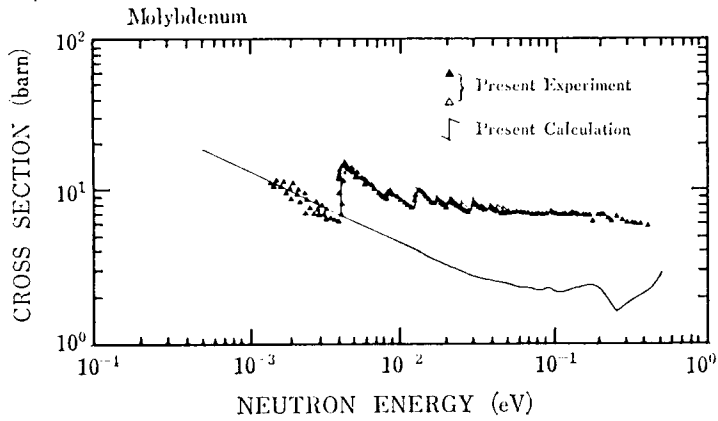
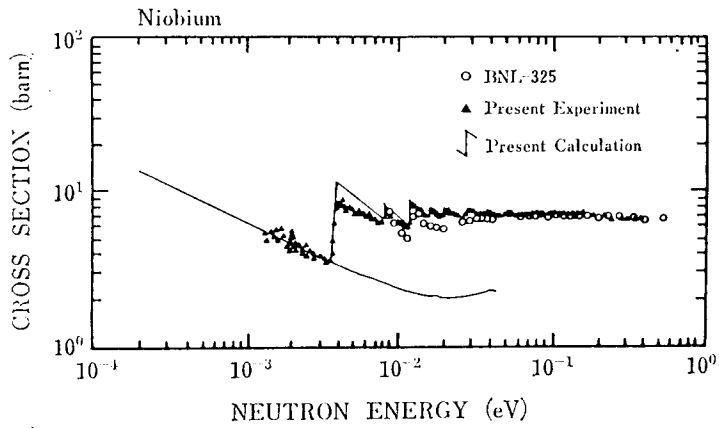


第5図 粉末状サンプルの測定結果
(アルミニウム, ケイ素, マグネシウム, モリブデン)

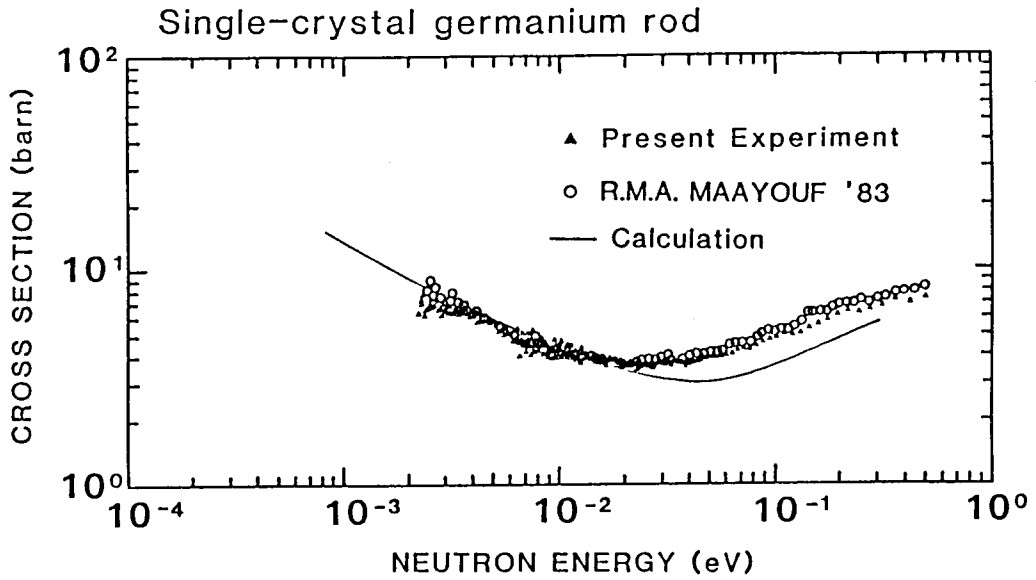


第6図 マグネシウムとアルミニウムの全断面積

第7図 ケイ素とジルコニウムの全断面積

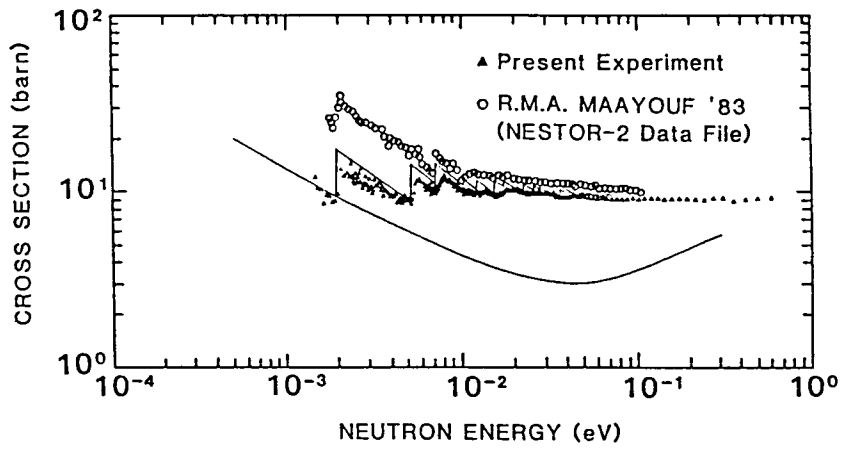


第8図 ニオブとモリブデンの全断面積

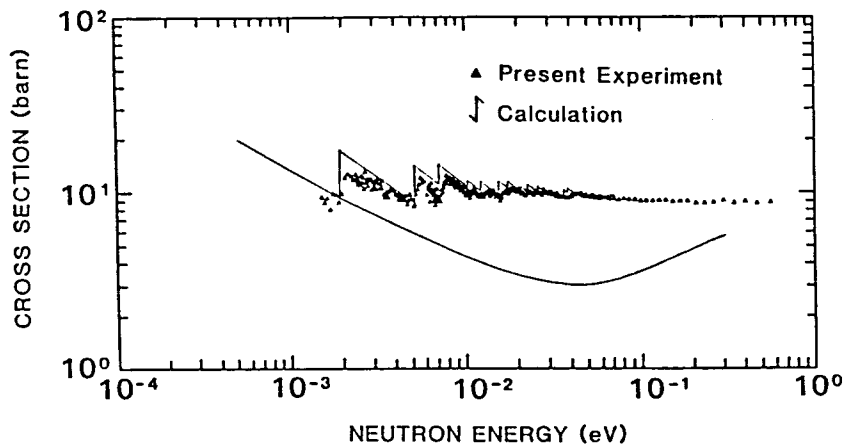


第9図 単結晶ゲルマニウムの全断面積

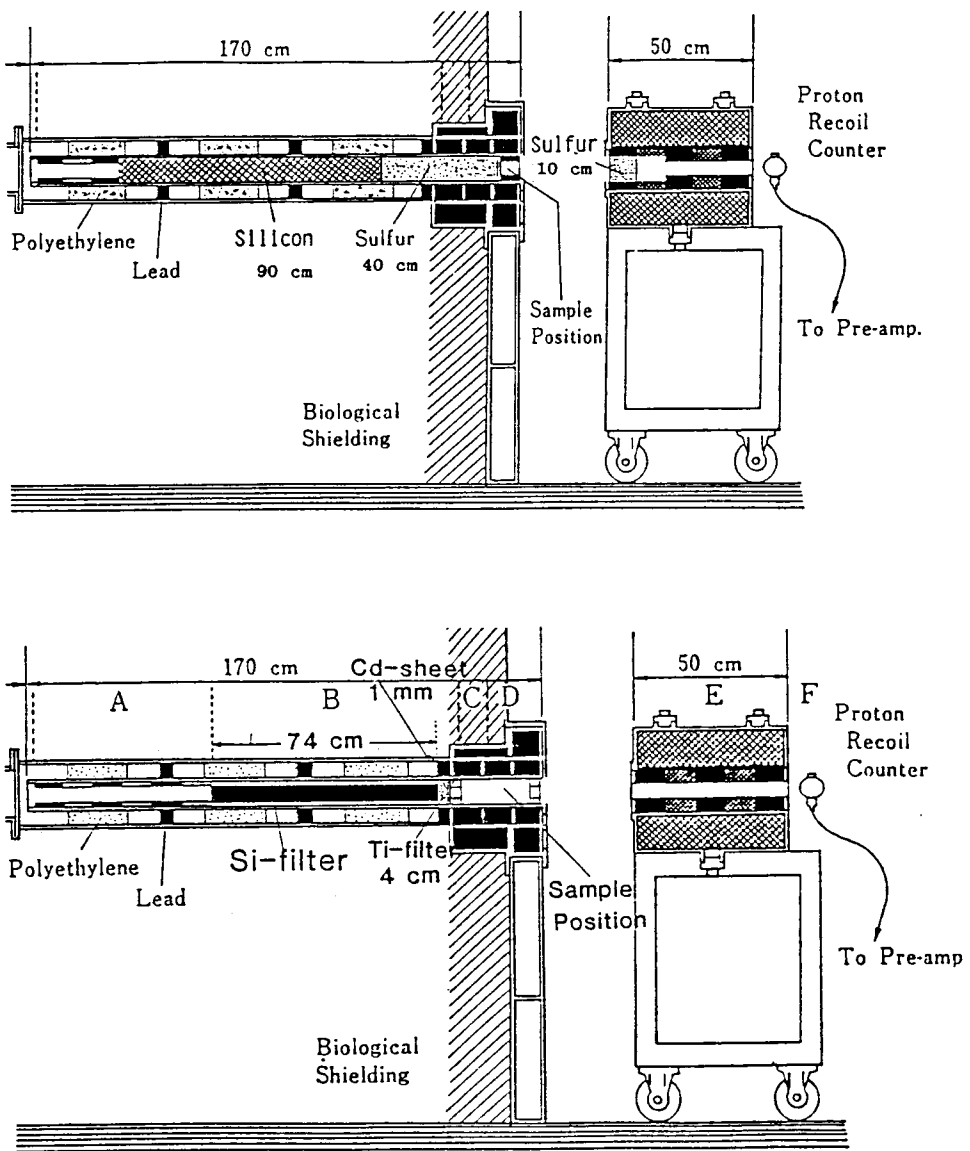
Germanium 74μ under (from single-crystal rod)



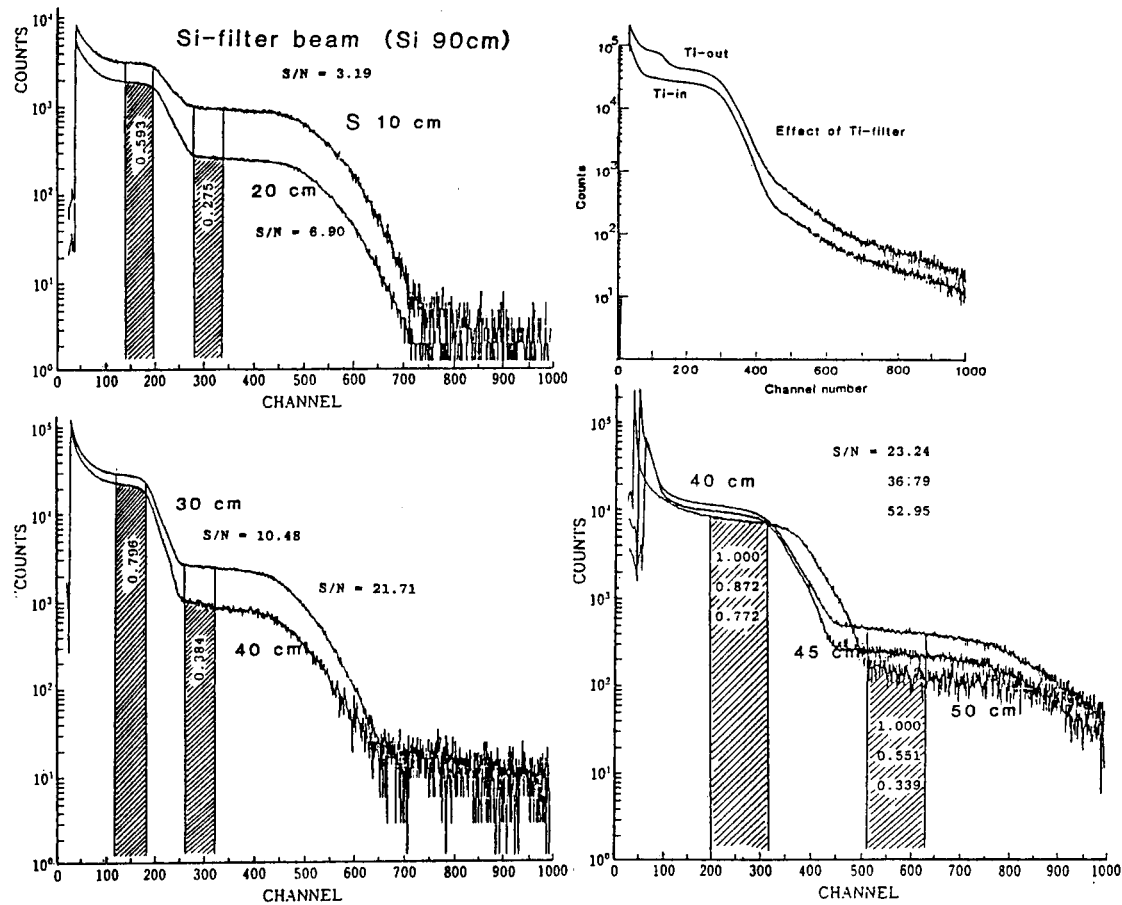
Germanium 74μ under (from polycrystalline rod)



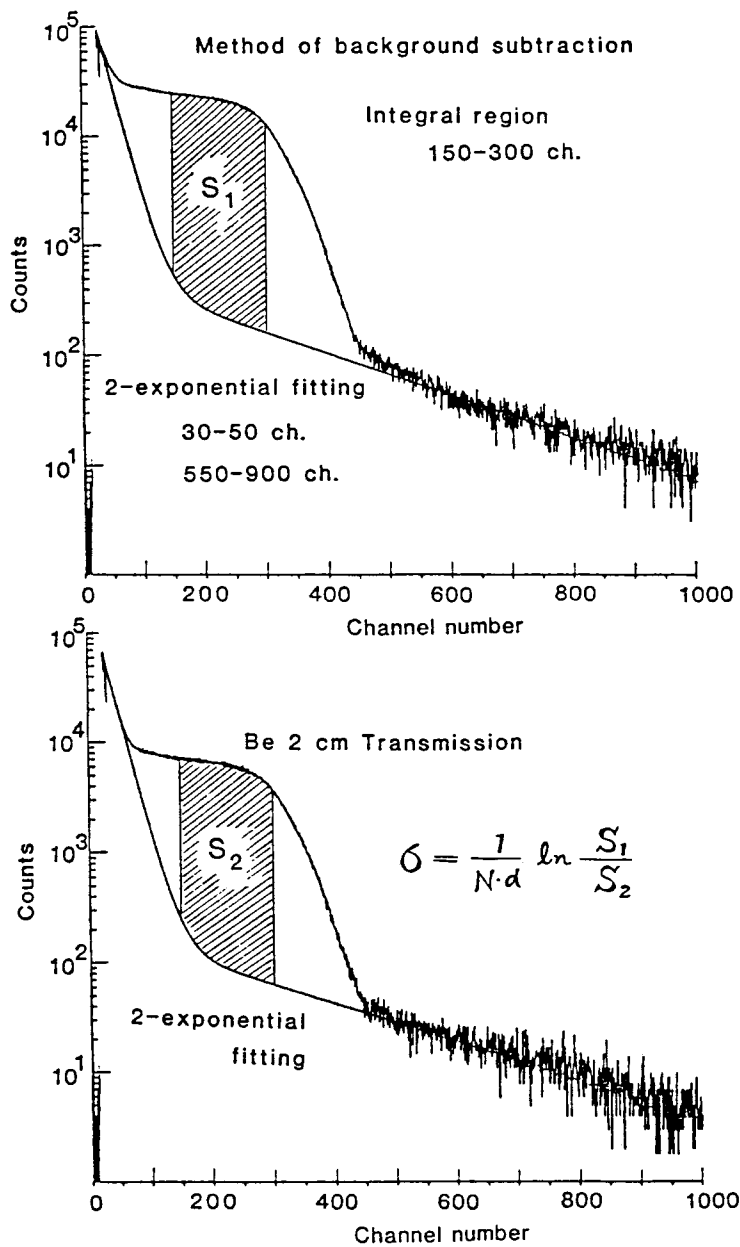
第10図 多結晶ゲルマニウムの全断面積



第 11 図 54 keV ならびに 144 keV 単色中性子用フィルター構造図



第 12 図 イオウ・フィルターの厚さを変えた時の波高分布の変化



第13図 波高分布からデータ処理の1例

第1表 測定サンプルの形状等

Element	Phase or form	Purity (%)	Density (g/cm ³)	Dimension	
				Diameter (cm)	Length (cm)
Mg	Solid	99.9	1.7	Ingot†	30.4
	Powder	99.0	1.0	9.8	36.0
Al	Solid	99.9	2.7	9.9	30.0
	Powder	99.9	1.5	9.8	36.0, 54.0
Si	Solid	99.95	2.34	6.1	22.0, 30.2
	Powder	98.0	1.19	9.8	36.0
Zr	Solid	99.9	6.67	5.5	8.0
	Slug	99.8	3.0	9.8	18.0
Nb	Solid	99.9	8.6	5.5	8.0
	Crush	99.9	5.0	9.8	18.0
Mo	Solid	99.9	10.2	5.5	2.0
	Powder	99.9	2.49	10.2	16.0

† Trapezoid

第2表 測定サンプルの物理定数

Element	Crystal structure	Lattice constant (Å)	Debye temp. (K)	$\bar{\sigma}_T^*$ (barn)	a_{coh}^* (fm)	σ_T^* (barn)
Mg	bcc	$a=3.20280$ $c=5.19983$	342	3.41	5.33	0.063
Al	fcc	$a=4.04145$	428	1.49	3.45	0.23
Si	diamond	$a=5.42$	640	2.2	4.15	0.16
Zr	hcp	$a=3.23$ $c=5.14$	310	6.40	7.0	0.185
Nb	bcc	$a=3.2941$	252	6.37	7.11	1.15
Mo	bcc	$a=3.14103$	450	5.8	6.9	2.65

† BNL-325, (3rd ed.), Volume 1. [EANDC(US)-183/L]

第3表 ベリリウムと炭素の全断面積

	Present result		ENDF/B (55keV)	References	
	$\sigma(55\text{keV})$	Total error		$\sigma(24\text{keV})$	$\sigma(144\text{keV})$
Be	5.63 ± 0.03 barn	0.5%	5.76 barn	5.88 ± 0.02 barn	4.93 ± 0.02 barn
C	4.56 ± 0.02	0.4%	4.54	4.65 ± 0.01	4.25 ± 0.02

第4表 ニオブの全断面積の厚さおよび温度依存性

Thickness (cm)	EATCS (24KeV) (barn)		EATCS (54KeV) (barn)	EATCS (144KeV) (barn)
	20 °C	600 °C	20 °C	
2	7.57 ± 0.09	7.85 ± 0.09	8.36 ± 0.04	8.87 ± 0.04
4	7.04 ± 0.08	7.32 ± 0.09	7.42 ± 0.04	8.46 ± 0.03
6	6.68 ± 0.07	6.91 ± 0.08	7.00 ± 0.04	8.05 ± 0.03