機器中性子放射化分析用石英試料管のから試験値に関する

考察

米沢伸四郎[®], 星 三千男^{*}

(1989年7月4日受理)

機器中性子放射化分析 (INAA) で、長時間照射の試料容器材として使用する石英管のから試験値に関する検討を行った。から試験値の要因である、1) 石英管中の不純物、2) 照射前及び照射中の汚染に関して INAA により調べた。石英管中の不純物の分布を測定し、洗浄及びエッチング法の検討を行うと共に、製造方法の異なる各種石英管中の不純物の定量により、INAA 用として最適の石英管を選定した。照射カプセル材及び包装材の Al 中の不純物 U の核分裂生成物の汚染及び石英ガラス細工による加工の際のガスバーナーからの汚染についても調べ、その防止策を検討した。確立した方法による NBS 生体標準試料、Bovine Liver 及び Orchard Leaves 各々 0.1 g の分析における各種元素のから試験値は、標準試料中の存在量に比べ、Cr を除き 1% 以下であった。Cr は石英管中の含量のばらつきが他の元素に比べ大きく、Bovine Liver 0.1 g の分析におけるから試験値の最大値は、1.8% であった。

1 緒 言

機器中性子放射化分析 (INAA) は、非破壊で多元素を正確に同時定量できるという特色を持つことから、試料数が多い生体試料の分析に適しており、血清中の Se、Zn 濃度と発がんとの関係を調べるための大規模な分析¹⁾にも使用されてきた。このような INAA では、複雑な操作は行わず、そのまま試料容器ごと放射能測定を行うことが多く、試料容器のから試験値が最も大きな誤差の原因となる。INAA の精度、正確さを高めるためには、試料容器のから試験値をできるだけ低くする必要がある。試料容器のから試験値を低下させる方法としては、照射後試料を新しい容器に移し換える方法が最も有効である。しかし、生体試料などのように放射線分解及び熱分解を受けやすい有機物試料について長時間照射を行う場合は、分解生成物が容器壁面に付着するなどして、試料の完全な移し換えが困難になる場合が多い。

一般に、INAA 用試料容器材としては、から試験値が低く試料の密封が容易なポリエチレンが用いられる。しかし、長寿命核種を利用して高精度 INAA を行うような、長時間照射の場合は、ポリエチレンは融解してしまうことから、試料容器材として使用することができない。日本原子力研究所の研究用原子炉 JRR-2、-4 の場合、20~40 分以上の照射ではポリエチレンを使用する

ことが禁じられる。このような長時間照射の試料容器材としては、安定性及び試料の密封性などから石英管が最も良く使用される。

石英管を試料容器とした INAA のから試験値に関して、Matsushita ら²⁾は各種石英管中の不純物分析から INAA 用の試料管として合成石英管が適していることを明らかにすると共に、から試験値の低減化にはフッ化水素酸による表面エッチングが有効であることを報告している。又、Lux ら³⁾及び Maziere ら⁴⁾は照射後試料を容器から移し換える方法におけるから試験値の検討を行っている。ここでは、試料を試料容器から移さず試料容器ごと放射能測定を行う INAA のから試験値に関して、不純物及び各種要因による汚染について更に詳しく検討すると共に、生体試料分析におけるから試験値を明らかにした。

試料容器の石英管ごと放射能測定を行う INAA のから試験値の要因としては、1) 石英管中の不純物、2) 照射前及び照射中の汚染がある。不純物に関しては、石英管中の分布を調べ、洗浄及びエッチング法の検討を行うと共に、製造方法の異なる数種の石英管中の不純物を定量し、INAA 用として最適の石英管を選定した。汚染に関しては、照射中カプセル材及び包装材の Al 中の不純物 U、Th からの核分裂生成物の汚染及び石英ガラス細工の際のガスバーナーからの汚染について吟味し、その防止策を検討した。

* 日本原子力研究所東海研究所: 319-11 茨城県那珂郡東海村

2 実験方法

石英管試料: 石英管試料として, 信越石英製合成石英管 VIOSIL-F, 東芝セラミックス製合成石英管 T-4040, 西ドイツ HERAEUS 製合成石英管 SUPRASIL-II, 並びに天然溶融石英管 HERALUX-WG 及び ESR 用試料管を使用した。

中性子照射: 石英管試料及び石英管に封入した比較標準試料溶液をポリイミドフィルム (東レ・デュポン製, 厚さ 50 又は 75 μm) で包み, 更にポリイミドフィルム (厚さ 125 μm) を内張りした Al 製照射カプセルに入れ, JRR-2 VT-7 孔又は VT-8 孔 (熱中性子束 $2 \times 10^{13} \text{ n cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ 以上) で 265.5 時間行った。なお, 表面からの深さ方向に関する不純物の分布測定及び不純物の定量のための照射は, 石英管試料を更に石英管に封入して行った。

表面エッチング: 照射後約 20 日間以上冷却後, 試料を室温で 46% フッ化水素酸中に 2~3 分浸し, 表面を約 5 μm エッチングした。試料を水で洗浄後 γ 線スペクトルを測定した。

γ 線スペクトル測定: γ 線スペクトロメーターとして ORTEC 製 WIN-15 型 Ge(Li) 検出器 [相対検出効率 16%, エネルギー分離能 (1332 keV) 2.0 keV] を ORTEC 製 6240 型及び CANBERRA 製 9502 型マルチチャンネルアナライザーと接続したものを使用し, 試料と検出器間距離 10 mm で, 10000~40000 秒計測した。比較標準溶液は, 試料と同じ形状のガラス管に封入し, 試料と同じ距離で γ 線スペクトルを測定した。

比較標準用の各種元素の標準溶液は, できるだけ高純度の金属又は酸化物などから調製した。

3 結果及び考察

3.1 洗浄及びエッチング法の検討

石英管の洗浄及びエッチングの有効性を調べるため, 各種石英管中の不純物の表面から深さ方向の分布を測定した。王水及び水で洗浄後原子炉で照射した石英管試料 (両端が開放状態) をポリエチレン製ピーカーにとり, フッ化水素酸を加え室温中で振り混ぜながら表面をエッチングし, エッチング液の放射能と試料の重量測定から不純物の深さ方向の分布を測定した。原料を四塩化ケイ素とする合成石英管 VIOSIL-F 中の不純物の分布測定結果を Fig. 1 に示す。Cr (^{51}Cr), Sb (^{124}Sb), Eu (^{152}Eu) などの不純物の大部分は, 表面から 5 μm までに存在していることが判明した。Sc (^{46}Sc) は, 他の不純物とは多少異なる分布を示した。他の石英管について

Fig. 1 Distribution of impurities in synthesized quartz tube

Quartz tube: VIOSIL-F

も, 検出された元素は多少異なるが同様の分布結果が得られた。

各種薬品による洗浄及びエッチングによる不純物の除去方法の検討を行った。深さ方向の不純物の分布測定の実験と同様にして調製した石英管試料 (両端が開放状態) をピーカーにとり, 精製水, 各種酸により洗浄あるいはフッ化水素酸によりエッチングを行った後, 洗浄液, エッチング液及び試料の放射能測定を行った。合成石英管 SUPRASIL-II について, 精製水中での超音波洗浄, 王水による洗浄 (80°C 10 min) 及びフッ化水素酸による表面 9 μm のエッチングを行った試料の γ 線スペクトルを Fig. 2 に示す。精製水中での超音波洗浄及び王水による洗浄による放射性核種 (^{182}Ta) の除去率は 30% 以下と低く, 十分な洗浄効果は得られない。濃塩酸, 濃硝酸及び 9 M 硫酸による各々 80°C 5 分の洗浄も検討したが, 王水と同様, 十分な洗浄効果は得られなかった。しかしフッ化水素酸による表面約 9 μm のエッチングでは除去率は 99% 以上と高く, 不純物をほぼ完全に除去できることが判明した。Nadkarni ら⁵⁾は生体試料の INAA において, 照射後沸騰王水による試料管の洗浄を行っているが, フッ化水素酸エッチングによりから試験値を更に低減化できることが明らかになった。エッチングの深さについては, Maziere ら⁴⁾は 10 μm ほどのエッチングにより求めた石英管中の不純物の分布測定結果から, 10 μm 以上を推奨しており, 又 Matsushita ら²⁾は 20~30 μm のエッチングを行っているが, Fig. 1 に示すような各種石英管中の不純物の深さ方向の分布測定結果から, 5 μm で十分であることが分

Fig. 2 Gamma-ray spectra of quartz tube after washing and etching processes

Quartz tube: SUPRASIL-II 1.18 g; Cooling time: 20 d; Measurement time: 10000 s; Spectrum 1: measured after ultrasonic cleaning; Spectrum 2: measured after aqua regia washing; Spectrum 3: measured after HF etching (9 μ m)

かった。

3・2 各種石英管中の不純物の定量

INAA の試料容器材として最も適した石英管を見つけるため, INAA により市販の各種石英管中の不純物の定量を行った。試料の放射能は, 照射後, 試料表面を約 5 μ m エッチングし, 測定した。定量元素としては, 石英管を試料容器材として使用した場合に対象となる。半減期 d オーダー以上の核種で, かつ生体試料分析で重要な元素を選び, 比較法により定量した。合成石英管 VIOSIL-F については, 購入時期の異なる 3 種類につ

いて分析を行った。定量結果を Table 1 に示す。表中各元素の検出限界は, γ 線スペクトル中, 各元素に起因する核種の γ 線エネルギー領域の, 計数値の標準偏差の 3 倍 (3σ) として求めた。四塩化ケイ素から合成した石英管は不純物含量が低く, その中でも VIOSIL-F が最も高純度であり, INAA の試料容器材として最適であることが分かった。SPRASIL-II の定量結果は, Kim ら⁶⁾の SPRASIL の分析結果と比べやや低めの値が得られた。これは, Kim らも指摘しているように, ロットごとの不純物含量の変動, 試料の製造方法の違い及び試料の処理方法の違いなどによるものと思われる。ロット

Table 1 Analytical results of impurities in several kinds of quartz tube

Element	Content, ppb					
	VIOSIL-F ^{a)}	SUPRASIL-II ^{a)}	(SUPRASIL ^{a)} ^{b)}	T-4040 ^{a)}	ESR tube	HERALUX-WG
Sc	$(<6, <7, <7) \times 10^{-5}$	$<5 \times 10^{-5}$	(0.002~0.05)	5.2×10^{-3}	$<9 \times 10^{-4}$	0.52
Cr	0.067, <0.02, 0.14	0.40	(1.0±0.1)	13	1.4	11
Fe	3.7, <0.8, <1	15	(1.2~10.1)	99	<20	950
Co	$(2.8, 3.1, 3.2) \times 10^{-3}$	7.7×10^{-3}	(0.1~0.17)	0.66	0.48	0.098
Zn	<0.02, <0.04, <0.04	0.026	(0.08~0.3)	<0.2	<0.3	<1
Se	<0.02, <0.02, <0.02	<0.02	(0.01~0.3)	<0.08	<0.1	<0.5
Sb	$(<4, <2, <3) \times 10^{-3}$	$<4 \times 10^{-3}$	(0.003~1.7)	<0.02	<0.04	170
Ce	<0.009, <0.02, <0.01	<0.01	(0.01~0.4)	<0.04	<0.05	1.1
Eu	$(<3, <4, <3) \times 10^{-4}$	$<3 \times 10^{-4}$	$((3 \pm 1) \times 10^{-3})$	$<1 \times 10^{-3}$	$<2 \times 10^{-3}$	0.038

a) synthesized quartz tube; b) determined by Kim *et al.*⁶⁾

ごとの不純物含量の変動については、VIOSIL-Fの分析からも観察された。

3・3 核分裂生成物の汚染

長時間照射の INAA では、試料の中性子照射は通常 Al 製カプセルを使用して行われる。JRR-2 及び JRR-4 の場合 20~40 分以上の照射は、Al 製カプセルが使われている。更に、石英管を試料容器材として Al 製カプセル中で照射を行う場合、石英管の破損を防ぐために Al はくで包装してカプセルに詰める例が多い。これらの Al 中には通常約 1 ppm の U 及び 0.1 ppm の Th が含まれる⁷⁾。従って、Al 材を使用して長時間照射を行った場合、石英管表面に主に U の中性子核分裂に伴う核分裂生成物が打ち込まれると予想される⁸⁾。以上の状況のもとで合成石英管 SUPRASIL-II を Al はく (U 890 ppb, Th 93 ppb)⁷⁾ に包み、Al 製カプセルに入れて JRR-2 で 265.5 時間照射し、その γ 線スペクトルを測定した。得られた γ 線スペクトルを Fig. 3 に示す。石英管中には ^{95}Zr ~ ^{95}Nb , ^{103}Ru , ^{131}I , ^{140}Ba ~ ^{140}La , ^{141}Ce などの核分裂生成物の汚染が確認された (スペクトル 1)。これらの核分裂生成物は、主に Al はく中の不純物 U の核分裂反応によるものである。フッ化水素酸によるエッチング法により深さ方向の分布を調べた結果、図中スペクトル 2 から分かるように、8 μm 程度のエッチングではこれらの核分裂生成物を完全に取り除くことが困難であった。表面から 20 μm までのエッチングでは、エッチング液中に核分裂生成物が確認された。石英管試料と同時に照射した U の比較標準試料の核分裂生成物の放射能と石英管試料の核分裂生成物の放射能から、石英管試料に打ち込まれた核分裂生成物量を U 量に

換算すると、数十 ng に相当するものであった。核分裂生成物によるから試験値を低下させる方法としては、表面 20 μm 以上のエッチング法も有効である。しかし、長時間照射により生体試料を分析する場合は耐圧上の問題などがあり、核分裂生成物の汚染を防止する他の方法の検討を行った。核分裂生成物の汚染を防ぐ方法としては、1) U, Th 含量の低い材料の照射カプセルを使用する、2) U, Th 含量の低い石英管で 2 重封入する、3) 水中で照射をする、4) 試料容器表面を U, Th 含量の低いポリイミドフィルムで包むなどがある。1) はポリイミド製カプセルを使用するものであるが、最大照射時間が JRR-2, -4 の場合 6 時間と短く、又高価である。2) は、内容積が小さくなり、照射できる試料数が少ない、3) は汚染防止が完全でないなどの欠点がある。これに対して 4) が最も簡単な方法で汚染防止ができ、JRR-2 で 265.5 時間という長時間照射も可能であった。

3・4 石英ガラス細工による汚染

石英管の試料容器への加工は酸素-水素フレイムにより行われるが、真ちゅうなどの金属製ガスバーナーを使用すると、金属酸化物粒子によるエッチングでは取り除くことの困難な汚染の発生が考えられる。このようなことから、石英ガラス細工による試料管への加工の際の汚染について調べた。VIOSIL-F 管 (内径 4 mm) をフッ化水素酸によるエッチング、水洗、乾燥を行った後、石英製ガスバーナー及び金属 (真ちゅう) 製ガスバーナーで試料管 (長さ 4 cm) に加工し、同じ寸法に切断した石英管と共に原子炉で照射をし、表面をエッチング後放射能測定を行った。分析試料は、ロットごとの不純物の変動の影響を避けるため、1 本の管から無加工、石

Fig. 3 Gamma-ray spectra of quartz tube contaminated by fission products

Quartz tube: SUPRASIL-II 1.18 g; Cooling time: 20 d; Measurement time: 10000 s; Spectrum 1: measured before HF etching; Spectrum 2: measured after HF etching (8 μ m)

Table 2 Contamination from blowing step in the production of the ampoules from quartz tube

Element	VIOSIL-F tube	Content, ppb									
		Ampoule									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Sc($\times 10^{-4}$)	<2	<2	<2	<4	<3	<2	2.2	<2	65	9.3	<2
Cr	<0.04	<0.04	<0.04	<0.05	<0.05	<0.05	0.079	<0.04	<0.04	<0.04	<0.05
Fe	<2	<2	<2	144	17	31	4.9	<2	20	<3	3.3
Co($\times 10^{-3}$)	3.0	5.4	6.6	17	79	10	31	7.9	14	9.4	8.7
Zn	<0.09	<0.1	0.45	<0.2	<0.2	<0.1	4.8	<0.09	0.13	0.44	<0.07
Sb($\times 10^{-3}$)	<4	<4	<4	21	<6	<5	13	<4	<8	11	<4

Ampoule No. 1~5: produced by quartz gas burner; Ampoule No. 6~10: produced by metal gas burner

英製ガスバーナー加工及び金属製ガスバーナー加工の試料を交互に 5 本ずつとり、分析を行った。分析結果を Table 2 に示す。放射能測定は、10000~40000 秒行ったが、各元素の検出限界値は比較を容易にするため 10000 秒に換算したものを示した。本実験では、試料管の加工の際鉄鋼製の保持具を使用したため、Fe, Co, Sb

などの汚染が両方法で加工した試料管から確認された。金属製ガスバーナーで加工した試料からは、これらとは異なる Zn, Sc, Cr の汚染が石英製ガスバーナーによるものよりも多いことが判明した。このことから、石英ガラス細工の際、石英製ガスバーナーを使用することにより、から試験値を更に低減できることが分かった。

Table 3 Analytical results of blank values in the analysis of biological samples

Element	Nuclide	E_γ / keV	Content in ampoule ^{a)} , ppb	Blank value (ng/1.5 g)	Relative blank value ^{b)} , %	
					Bovine Liver ^{c)}	Orchard Leaves ^{d)}
Sc	⁴⁶ Sc	889.2	($<9, <8, <8$) $\times 10^{-5}$	$<1.4 \times 10^{-4}$	<0.14	<0.002
Cr	⁵¹ Cr	320.1	$<0.02, 0.080, 0.11$	0.16	1.8	0.06
Fe	⁵⁹ Fe	1099.2	$<1, <1, <1$	<1.5	<0.006	<0.005
Co	⁶⁰ Co	1332.5	($5.2, 2.5, 2.5$) $\times 10^{-3}$	7.8×10^{-3}	0.04	0.04
Zn	⁶⁵ Zn	1115.5	$<0.06, <0.04, <0.04$	<0.09	<0.0007	<0.004
Se	⁷⁵ Se	264.7	$<0.02, <0.02, <0.02$	<0.03	<0.03	<0.4
Sb	¹²⁴ Sb	602.7	($<2, <3, <3$) $\times 10^{-3}$	$<4.5 \times 10^{-3}$	<0.9	<0.002
Cs	¹³⁴ Cs	795.9	($<2, <2, <2$) $\times 10^{-3}$	$<3 \times 10^{-3}$	<0.2	<0.09
Ce	¹⁴¹ Ce	145.4	$<0.02, <0.01, <0.01$	<0.03	<0.7	<0.03
Eu	¹⁵² Eu	344.3	($<5, <4, <3$) $\times 10^{-4}$	$<7.5 \times 10^{-4}$		<0.008

a) VIOSIL-F; b) blank value $\times 100/$ {content (ng g⁻¹) in sample $\times 0.1$ }; c) NBS SRM 1577 0.1 g; d) NBS SRM 1571 0.1 g; NBS certified and Gladney compiled values⁹⁾ were used for the contents of each element in the samples.

3・5 生体試料分析におけるから試験値

これまでに検討した方法による、NBS の生体標準試料 Orchard Leaves (SRM 1571) 及び Bovine Liver (SRM 1577) の分析におけるから試験値の測定を行った。試料容器材として合成石英管 VIOSIL-F (内径 4 mm) を用い、フッ化水素酸で表面を 5 μ m エッチングし水洗乾燥後、石英製ガスバーナーでアンプル (重量 1.0~1.5 g) に加工した。ポリイミドフィルム (50 又は 75 μ m) でアンプルを包み、ポリイミドフィルム (125 μ m) で内張りをした Al 製照射カプセルに詰め、JRR-2 で 265.5 時間照射を行った。約 20 日間以上冷却後、フッ化水素酸で表面を約 5 μ m エッチングし、水洗後 40000 秒放射能測定を行った。生体試料の長寿命核種を利用した INAA で対象となる核種について、放出率が高く、妨害の少ない γ 線を使用し、不純物分析の場合と同様、比較法により各元素の含量及び検出限界を求めた。結果を Table 3 に示す。ロットの異なった石英管から製作した 3 種類の試料容器の分析を行った結果、検出された元素は Cr, Co, Ag のみであった。Ag は 1 種類の試料からのみ検出されたが、定量は行わなかった。

Bovine Liver 及び Orchard Leaves の各々 0.1 g を、試料容器 (VIOSIL-F 製 1.5 g) に封入して分析を行った場合を想定し、分析試料中の元素の存在量に対する試料容器中の各元素のから試験値の割合 (相対から試験値 %) を計算した。試料容器 1.5 g 中の各元素のから試験値は、3 個の定量値のうち最大値から計算し、試料中の各元素の存在量は、NBS の保証値及び Gladney の値⁹⁾ から求めた。これらの結果も Table 3 に示す。本法に

よる Bovine Liver 及び Orchard Leaves 各々 0.1 g の分析における相対から試験値は、Cr を除き 1% 以下であった。Cr は他の元素に比べばらつきが大きく、Bovine Liver の場合で、最大の相対から試験値は 1.8% であった。

以上のように石英管のから試験値を小さくするためには、1) 合成石英管を使用する、2) アンプルへの加工前及び照射後のフッ化水素酸による表面約 5 μ m のエッチング、3) 石英製、ガスバーナーによる石英ガラス細工、4) ポリイミドフィルムによる試料管の包装及びカプセルの内張り、が有効であることが分かった。

終りに、本実験に際し石英製ガスバーナーの製作及び、アンプルの封入等で御協力を戴いた、本研究所周木村喜久雄氏 (現在水戸理化ガラス) 及び小原和弘氏に感謝する。

(1988 年 10 月第 32 回放射化学討論会及び
1988 年 10 月京都大学原子炉実験所専門研究
会「原子炉による中性子放射化分析の基
礎及び応用」において一部発表)

文 献

- 1) 米沢仲四郎, 星三千男, 佐伯正克, 立川圓造, 今井秀樹, 兜 真徳, 鈴木継美: 第 31 回放射化学討論会講演予稿集, p. 60, (1987).
- 2) R. Matsushita, M. Koyama: *Annu. Rep. Reactor Inst. Kyoto. Univ.*, **12**, 138 (1979).
- 3) F. Lux, T. Bereznai, S. Trebert Haerberlin: *J. Radioanal. Nucl. Chem.*, **112**, 161 (1987).
- 4) B. Maziere, A. Gaudry, J. Gros, D. Comar: *Radiochem. Radioanal. Lett.*, **28**, 155 (1977).
- 5) R. A. Nadkarni, G. H. Morrison: *Anal. Chem.*, **45**, 1957 (1973).
- 6) J. I. Kim, G. Bohm, R. Henkelmann: *Fresenius' Z. Anal. Chem.*, **327**, 495 (1987).

- 7) 米沢伸四郎, 星三千男, 立川圓造, 上沖 寛: 分析化学, **37**, 7 (1988).
- 8) F. F. Dyer, J. F. Emery, K. J. Northcutt, R. M. Scott: *J. Radioanal. Chem.*, **72**, 53 (1982).
- 9) E. S. Gladney: *Anal. Chim. Acta*, **118**, 385 (1980).

Blank analysis of quartz container for instrumental neutron activation analysis. Chushiro YONEZAWA and Michio HOSHI (Japan Atomic Energy Research Institute, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki, 319-11)

Blank values from quartz tubes used as sample containers for long-time irradiation in INAA were evaluated to study their effects on the analytical results. The main source of blank values, impurity contents and degrees of contamination before and during irradiation, were examined by INAA. The sample tubes and standards were irradiated in JRR-2 at a thermal neutron flux higher than $2 \times 10^{13} \text{ n cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ for 265.5 h. After cooling for more than 20 d, the samples were etched up to a sub-surface depth of 5 μm with 46% of hydrofluoric acid at room temperature. Then, the gamma-ray spectra were measured with a Ge(Li) detector. From the measurement of impurity distribution, the surface etching up to 5 μm with hydrofluoric acid was found to effectively mini-

mize the blank values. Synthesized quartz tube (VIOSIL-F) from tetrachlorosilane was found to be the most suitable for INAA, as a result of impurity analysis of several kinds of quartz tube. Contamination by fission products from the U contained at ppb levels in Al capsules and wrapping foil was found with the long-time irradiation. Such contamination could be prevented by wrapping the quartz tube with polyimide film (75~125 μm). Contamination from the blowing step during production of the ampoules from the quartz tube was also prevented by using a quartz gas burner. In INAA of 0.1 g of Bovine Liver (NBS SRM 1577) and Orchard Leaves (NBS SRM 1571), the blank values from the ampoule (VIOSIL-F 1.5 g) were minimized by the above procedure to less than 1% for all the elements determined except Cr.

(Received July 4, 1989)

Keyword phrases

evaluation of blank value, quartz tube for sample container, INAA, determination of impurity, contamination by fission products from U in Al, blowing with quartz gas burner.