(2) 試料の大きさによっては、既存の照射施設では利用可能な中性子フルエンスの範囲が狭く、フィッシュントラック年代測定や放射化分析に制限が生じている。

(3) 放射化分析など一般照射利用に際し、より正確な分析値を得るためには、照射場の特性や運転上の特性について今後より詳細なデータが整備される必要がある。

文 献

- 1) 神田啓治, 他: KURRI-TR-60 (1969)
- 2) 白崎正弘, 高見保清: IAERU-7801 (1978)
- 3) 小林捷平, 他: KURRI-TR-278 (1987)
- 4) 日本原子力研究所: 共同利用通信, No. 36 (1993)
- 5) Westcott, C. H.: CRRP-960 (1960)
- 6) Schmid, L. C. and Stinson, W. P.: HW-66319 (1960)

I・2 放射化分析の動向

1. 放射化分析の自動化と汎用化[†]

鈴木章悟, 岡田往子, 平井昭司

武蔵工業大学原子力研究所
215 神奈川県川崎市麻生区王禅寺 971

Key Words: instrumental neutron activation analysis, gamma-ray spectrometry, gamma-ray spectrum analytical program, personal computer

1. はじめに

原子炉中性子を利用し, Ge 半導体検出器と多重波高分析器による γ 線スペクトロメトリと電子計算機によるデータ処理を利用する放射化分析法は機器中性子放射化分析 (INAA) とよばれている。INAA の出現により, 分析化学者のものであった放射化分析が, 一般の研究者にも親しみやすいものになり, 環境科学, 材料科学, 地球化学, 考古学などで多元素分析に広く利用されるようになった。放射化分析の自動化

と汎用化のための, 市販のパーソナルコンピュータ (以下「パソコン」という) と直結した γ 線スペクトロメトリシステムについて述べる。

2. γ 線スペクトロメトリの構成

小型コンピュータを主体とした γ 線スペクトロメトリシステムを開発・製作した一例として武蔵工業大学原子力研究所 (武蔵工大原研) の GAMA システムがある。放射化分析専用の γ 線スペクトロメトリである GAMA (Gamma-Spectra Analysis of Musashi Institute of Technology, Atomic Energy Research Laboratory) システムは 5 号機まで設計・製作されている¹⁾⁻³⁾。どのシステムも基本設計は同一になっており, 図 1 に GAMA-IV システム (4 号機) の構成を示す。収集部と解析部に 2 台のパソコンを用いており, データ収集は 8 192

[†]I・2 Trend of NAA. 1. Automatization and generalization of activation analysis. Shogo SUZUKI, Yukiko OKADA and Shoji HIRAI: Atomic Energy Research Laboratory, Musashi Institute of Technology, 971, Ohzenji, Asao-ku, Kawasaki-shi, Kanagawa-Pref. 215, Japan.

図1 GAMA-4 システムブロック図

チャンネルで、ADCからのデータはDMA (direct memory access) モードにより、高速でシステムの収集専用のメモリに書き込まれる。DMAのバスラインはプログラムのバスラインと別個の構造になっているので、ソフトウェアの介在しない高速収集ができるとともに、CPUはデータ収集に関係せず、収集中もプログラムによりシステム全体の監視、制御を行うことができる。また、アンチコンプトン計測⁴⁾の際には、同時測定スペクトルと反同時測定スペクトルを4096チャンネルずつ同時に収集する。

データ収集中は3台のディスプレイに全体スペクトル、部分拡大スペクトルおよび操作・測定条件が同時に表示される。全スペクトルディスプレイでは8192チャンネルの全体のスペクトルを表示し、スペクトル中で明るく輝度表示されている範囲が部分拡大スペクトルディスプレイに表示される。操作・測定条件を示すキャラクタディスプレイは、40文字×30行のカラー表示で、測定時にカウント数などのスペクトル情

報、測定時間 (live time, true time)、1秒ごとの不感時間率、試料名、測定開始時刻などが表示される。

測定条件の設定、データ転送などの操作は制御プログラムで管理され、操作はキャラクタディスプレイを介して、測定者との対話形式により簡単に行われる。また、測定時間、試料名をあらかじめ設定しておくことにより、システムに接続している遮蔽体付サンプルチェンジャーを動作させて夜間の自動測定が行える。さらに、武蔵工大ではパルス・パイルアップ・リジェクタを付加し、測定中の放射能減衰を正確に補正できるシステム⁵⁾やロボットによる放射化分析用試料交換システム⁶⁾の開発も行っている。

3. γ 線スペクトル解析プログラム

セイコー EG&G、東陽テクニカ、ラボラトリ・イクイップメント・コーポレーションなどの市販の多重波高分析器 (MCA) には、パソコンのMCAプログラムにより γ 線スペクトル

```

.....
F3
IRR. C5H 2MM          TT086026LT085800
ST8808;0109:2518  IT8806;2815:2600
SMP. RICE-1-900
.....
STD NO. =15  WEIGHT (MG) = 900. 3

NO:CHANNEL:ENERGY:FWMH:  AREA  :  LLD  :  INTENSITY :  CONCENT.
   (ch)   (keV)  (keV)  (count) %ERR  (count)      (CPS)      (PPM)

1  529.59  264.7  1.24  2.321E+03  3.6  6.74E+02  3.3055E-02  7.333E-02
-TA-182 #SE- 75  ¥SE- 75

2  640.48  320.1  1.24  1.033E+03 10.9  5.32E+02  2.8377E-02  5.765E-02
ND-147 #CR- 51  LU-177 ¥CR- 51

3 1205.88  602.7  1.31  1.943E+03  2.4  2.52E+02  3.3588E-02  1.256E-02
#SB-124 IR-192 ¥SB-124

4 1209.92  604.7  1.31  1.432E+03  2.9  2.52E+02  1.7225E-02  8.697E-03
IR-192 #CS-134 ¥CS-134

5 1592.15  795.8  1.66  1.059E+03  3.5  2.36E+02  1.2742E-02  8.465E-03
#CS-134 ¥CS-134

6 1670.16  834.8  1.41  5.467E+02  3.5  2.44E+02  6.8755E-03  1.212E+01
#MN- 54  ¥MN- 54

7 1779.24  889.3  1.30  5.267E+02 10.8  2.60E+02  8.1494E-03  3.708E-04
#SC- 46  ¥SC- 46

8 2154.14 1076.7  1.66  1.091E+04  0.8  1.06E+02  4.4963E-01  4.331E+00
#RB- 86  ¥RB- 86

9 2199.10 1099.2  1.67  1.349E+03  2.3  1.07E+02  2.6773E-02  1.161E+01
#FE- 59  ¥FE- 59

10 2231.71 1115.5  1.69  6.301E+04  0.6  7.95E+01  8.0936E-01  2.277E+01
#ZN- 65  ¥ZN- 65

11 2241.74 1120.5  1.69  5.119E+02  8.0  7.95E+01  7.9197E-03  4.498E-04
-EU-152 #SC- 46 -TA-182 ¥SC- 46

12 2347.10 1173.2  1.73  1.209E+03  3.4  5.42E+01  1.4266E-02  1.677E-02
#CO- 60  ¥CO- 60

13 2583.92 1291.6  1.73  9.728E+02  3.0  4.50E+01  1.9305E-02  1.247E+01
CD-115M#FE- 59  ¥FE- 59

14 2665.72 1332.5  1.79  1.080E+03  1.9  4.06E+01  1.2746E-02  1.694E-02
#CO- 60  ¥CO- 60
DATA FILE=880801M.03F

```

図2 γ 線スペクトル解析プログラムによる解析結果の出力例

解析が手軽に行えるようになっている。しかし、これらのプログラムにおいては、 γ 線ピーク面積の計算では基本的にバックグラウンドの台形差し引きの方法を用いているのがほとんどであり、複数の γ 線ピークが重なり合った複合ピークを正確に解析することはできないのが現状である。

武蔵工大の開発した中性子放射化分析用の γ 線スペクトル解析プログラムはGAMA98と名付けられ^{7),8)}、パソコン(NEC PC-9801シリーズ)により、ピークフィッティング法を用いて、複数の γ 線ピークが重なり合った複合ピークも短時間で正確に解析することができる。

GAMA98 プログラムでは、まず最初に解析するスペクトルのファイル名、分析したい元素名を入力し、さらにスタンダードライブラリの番号と試料重量を入力する。スタンダードライブラリは比較法で元素の定量を行うため、種々の元素について、その注目する生成核種の γ 線エネルギーごとの検出感度(cps/ μ g)が収められているファイルである。入力が終わると、入力した元素に対応する放射性核種(主に、(n, γ) 反応で生成する核種)を自動的に選び出す。これには核データのファイルであるアイソトープライブラリを使い、原子炉での照射終了から測定開始までの冷却時間を考慮して核種を

選び出し、解析する γ 線エネルギーを決定する。

次に、ピークの中心位置を推定するためスペクトルのピークサーチを行い、一番低エネルギーピークより順次解析を行う。まずピーク付近を平滑化し、ピークの半値幅を推定し、解析するフィッティング領域を設定する。設定した領域内に次のピーク成分が含まれる場合は複合ピークとしてまとめて解析するために領域を広げる。

ピークを表示する関数であるフィッティング関数の各パラメータの初期推定値を求め、非線形最小二乗法により計算する。そして収束したパラメータによりピークのエネルギー、面積等を計算する。その結果をもとに核種の同定、元素の定量を行う。アイソトープライブラリを用いて各ピークの核種を決定し、半減期補正を行い、照射終了時の計数率(cps)を計算する。さらにスタンダードライブラリを使って、注目する元素の γ 線エネルギーごとの感度(cps/ μg)より含有量(μg)が自動的に求められ、濃度(ppm)まで計算される。結果の出力例を図2に示す。結果はファイルに保存され、核種順に並び換えて一覧表の形でプリンタに出力される⁸⁾。

4. ま と め

2台のパソコンを用いることにより、 γ 線スペクトル収集と解析が独立・平行して実行できる。ルーチン作業が簡単な操作で自動化され、解析においてもキー入力される条件はできるだけ少なく、分析元素を入力するだけで対応する核種の γ 線ピークが選出されるようになっている。

文 献

- 1) Murata, Y., Hirai, S., Okamoto, M. and Kaki-hana, H.: *J. Radioanal. Chem.*, **36**, 525-535 (1977)
- 2) 鈴木章悟, 平井昭司: *Radioisotopes*, **34**, 563-566 (1985)
- 3) Suzuki, S. and Hirai, S.: *Anal. Sci.*, **3**, 91-92 (1987)
- 4) 鈴木章悟, 本田庸郎, 平井昭司: *Radioisotopes*, **27**, 268-270 (1978)
- 5) 鈴木章悟, 平井昭司: 分析化学, **41**, 521-525 (1992)
- 6) 鈴木章悟, 平井昭司: *Radioisotopes*, **42**, 467-469 (1993)
- 7) 鈴木章悟, 平井昭司: *ibid.*, **34**, 155-158 (1985)
- 8) 鈴木章悟, 平井昭司: *ibid.*, **38**, 315-318 (1989)

2. 中性子誘起即発ガンマ線分析[†]

米沢伸四郎, 伊藤泰男*

日本原子力研究所東海研究所

319-11 茨城県那珂郡東海村白方白根 2-4

*東京大学原子力研究総合センター

319-11 茨城県那珂郡東海村白方白根 2-4

Key Words: neutron-induced, prompt gamma-ray analysis, JRR-3M, cold neutron, thermal neutron, guide beam

1. はじめに

中性子放射化分析(NAA)は、主に中性子捕獲反応等で生成する放射性核種の壊変 γ 線の測定により行われるが、中性子捕獲反応等の

際、反応後 10^{-14} 秒以内に放出される捕獲 γ 線等の即発 γ 線測定により元素および同位体の分析も可能となる。この分析法は中性子誘起即発 γ 線分析(neutron-induced prompt gamma-ray analysis, PGA)*と呼ばれ、NAAでは分