Halbleitermessungen von Fallout

Autor(en): **Winiger, P. / Huber, O. / Halter, J.**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Helvetica Physica Acta**

Band (Jahr): **41 (1968)**

Heft 5

PDF erstellt am: **04.06.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-113908

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

Halbleitermessungen von Fallout

von **P. Winiger**[1]), **O. Huber** und **J. Halter**[1])
Physikalisches Institut der Universität Fribourg, Schweiz

(23. II. 68)

Abstract. Two γ-ray spectra of recent fission products, measured by a NaI well type crystal and a Ge(Li) drifted diode are compared. The high energy resolution of the small semi-conductor compensates nearly its low detection efficiency and allows a much more reliable analysis of complex spectra within the monitoring of radioactivity. An example of an analysis is given.

Am 24. 12. 1967 explodierte eine chinesische Atombombe, deren frisches Spaltproduktgemisch in den ersten Januartagen bei uns in den Luftfiltern und Regensammlern festgestellt werden konnte. Neben den üblichen Messungen der totalen Beta-Aktivität und der Gamma-Spektren mit NaI-Kristallen und einem RCL-512 Kanal wurden einige Proben mit einem Ge (Li)-Detektor hoher Energieauflösung untersucht.

Figur 1 zeigt das Spektrum einer Probe im Energiebereich von 60 bis 470 keV, 15 Tage nach der Explosion, gemessen mit einem NaI-Bohrlochkristall (4,5 × 5 inch, Energieauflösung von 8% der Cs-137 Linie von 662 keV). Man kann die sichtbaren Photospitzen dem Np-239 (U-238 $[n, \gamma]$ U-239 $\xrightarrow{23\ \mathrm{min}}$ Np-239) und den Spaltfragmenten Ce-144, Tc-99, Ce-141, Te-132, I-131 und Ru-103 zuordnen. Der Bereich des Spektrums von 0,5 bis 2,0 MeV lässt ausserdem die Linien von Cs-137 (662 keV), Zr-95 und Nb-95 ($\sim$ 750 keV) und La-140 (1600 keV) erkennen. Eine quantitative Analyse ist nur für einzelne Isotope sofort möglich, für die übrigen nur durch Aufnahme zeitlich auseinanderliegender γ-Spektren.

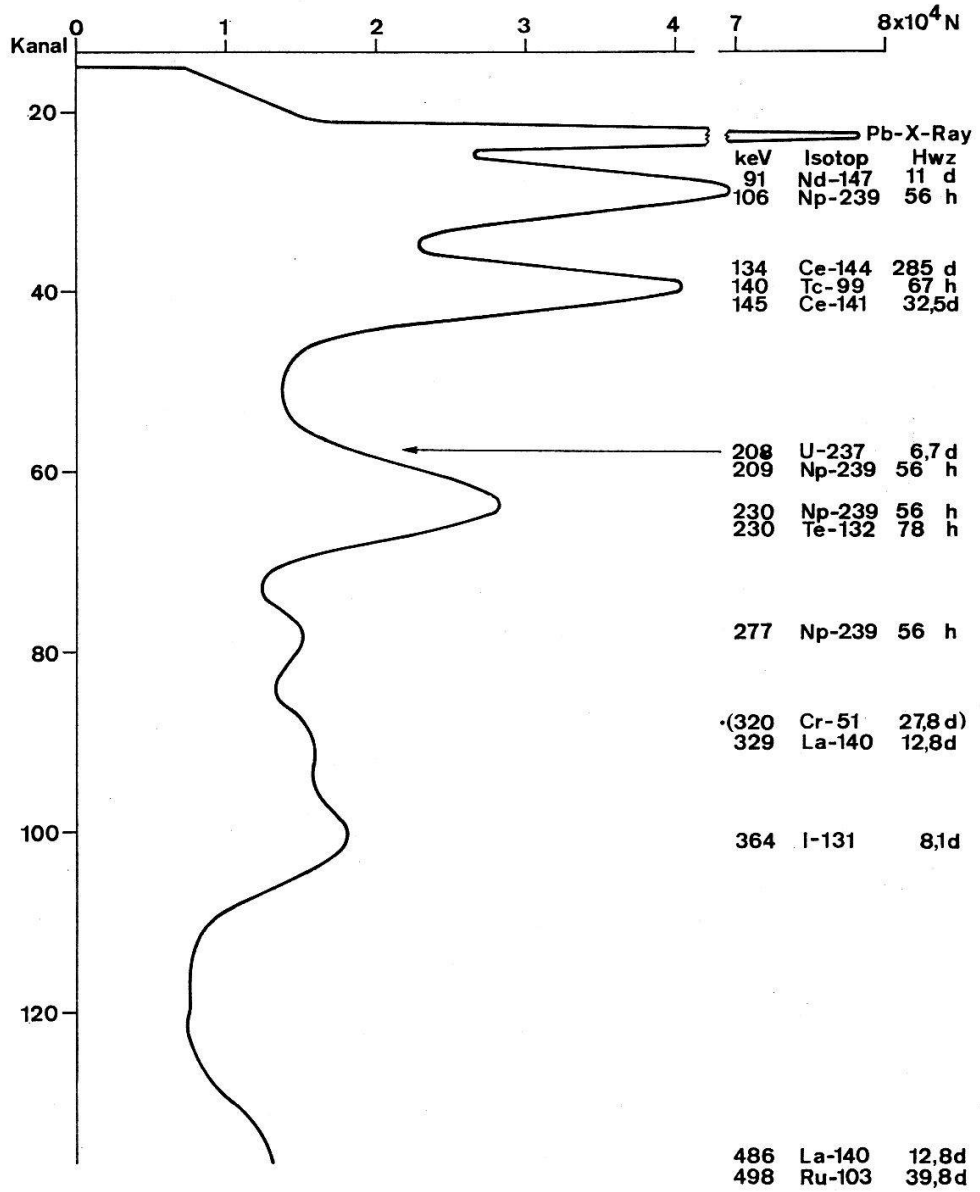
Figur 2 zeigt das Spektrum derselben Probe im gleichen Energiebereich 18 Tage nach der Explosion, gemessen mit einer Ge (Li)-Diode der Abmessungen 21,5 × 18 × 8 mm³, mit welcher eine Energieauflösung von 1,7 keV erreicht wurde. Neben weiteren Linien von bereits genannten Isotopen erkennt man zusätzlich Linien von U-237, Xe-133, Cr-51 (Verunreinigung) und die aufgelösten Röntgenspektren von Pb, Pu (Np-239) und Np (U-237), deren bekannte Energien und Intensitäten [1] in Tabelle 1 zusammengestellt sind.

Die Überlegenheit des Halbleiterspektrums wird evident in der quantitativen Analyse; ihre Genauigkeitsgrenze ist vor allem bedingt durch absolute Eichmessungen und eine reproduzierbare Messanordnung. Für die gezeigte Messung wurde die Ansprechwahrscheinlichkeit der Diode auf Grund der ermittelten Aktivität von Ba-140 (La-140) in der Probe mit deren Linien bei 163, 329 und 486 keV geeicht.

---

[1]) Eidg. Kommission zur Überwachung der Radioaktivität.

(Die Linie von La-140 bei 1,6 MeV erlaubte, diese Aktivität mit dem NaI-Kristall auf 10% genau zu bestimmen.)



Figur 1

γ-Spektrum einer Fallout-Probe der chinesischen Bombe vom 24. 12. 67, gemessen mit einem NaI-Bohrlochkristall.

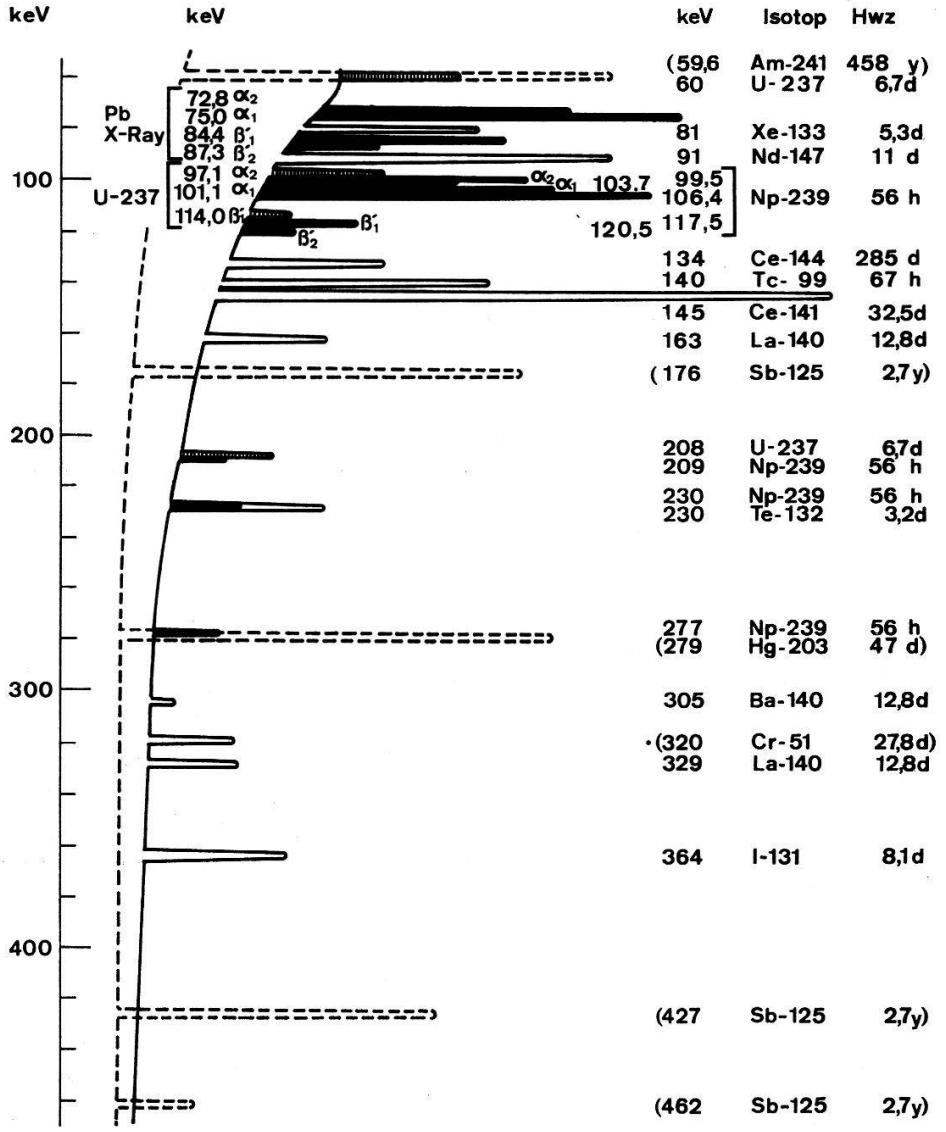
Tabelle 2 gibt die ermittelten Aktivitäten der gefundenen Isotope zum Zeitpunkt der Explosion mit einem Fehler von ca. 20%. Diese grosse Marge beruht auf der oben beschriebenen Eichung der Apparatur und wird hier zu Gunsten prinzipieller Überlegungen in Kauf genommen. Tabelle 2 enthält ferner einen Vergleich der Analyse mit den theoretisch erwarteten Werten aus 10^4 Spaltungen von U-235. Folgende Schlüsse können daraus gezogen werden:

a) Die Probe enthält die Spaltfragmente von $\sim 5 \cdot 10^8$ Spaltungen.

b) Te-132 ist um einen Faktor 3 angereichert, das Edelgas Xe-133 um einen Faktor 2 diskriminiert.

c) Die hohen Konzentrationen von Ce-144 und Cs-137 und ein Teil von Zr-95 stammen aus früheren Explosionen.

d) Auf 10^4 Spaltungen werden ungefähr 10^4 Kerne Np-239 und 300 Kerne U-237, welche durch doppelten n-Einfang [5] aus U-235 entstehen, nachgewiesen.



Figur 2

γ-Spektrum einer Fallout-Probe der chinesischen Bombe vom 24. 12. 67, gemessen mit einer Ge(Li)-Diode (———); Eichspektrum (– – – –).

Obwohl die Ansprechwahrscheinlichkeit infolge des geringeren Volumens der Diode rund 100mal kleiner ist als jene des verwendeten NaI-Kristalls, liegt ihre Nachweisgrenze wegen der ausgezeichneten Auflösung nicht viel schlechter. Zum Nachweis einer Linie muss ihre Peakhöhe (maximale Zählrate pro Kanal) grösser als die Streuung des entsprechenden Nulleffekts sein. Weil die Intensität dem Produkt aus Peakhöhe und Linienbreite proportional ist, wird der Effekt der kleineren Ansprechwahrscheinlichkeit der Diode auf die Nachweisgrenze durch die starke Verringerung der Linienbreite weitgehend kompensiert. Eine weitere Verbesserung lässt sich durch eine längere Messzeit erreichen.

Tabelle 1

Röntgenlinien in keV und relative Intensitäten der schweren Elemente Pb, Np und Pu nach [1].

Element Intensität	Ordn. Zahl	Bind. Energie K-Schale	α_1 K–L_{III}	α_2 K–L_{II}	β_1' K–M_{II-IV}	β_2' K–N_{II-IV}
Pb	82	88,015	74,969	72,805	84,447	87,238
					84,963	87,357
					85,419	87,570
Rel. Intens.			1000	553	355	102
Np	93	118,66	101,05	97,07	113,30	117,34
					114,23	117,58
					114,81	117,84
Rel. Intens.			1000	566	385	142
Pu	94	121,77	103,71	99,52	116,21	120,54
					117,21	120,64
					117,79	120,91
Rel. Intens.			1000	567	388	146

Tabelle 2

Analyse einer Probe der chinesischen Bombe vom 24. 12. 67.

Isotop	Halbwertszeit	Hauptlinie (keV)	Akt. am Explosionstag Aus Analyse berechnet pCi	Aktivitäten aus 10^4 Spaltungen von U-235[b]) 10^{-3} pCi	Aus Nuklidakt. der Probe berechnete Anzahl Spaltungen von U-235 $\times 10^8$
Np-239	56 h	106,14	34000		3,7[a])
U-237	6,75 d	208,00	430		0,13[a])
Mo-99	67 h	–	2200	47,7	4,6
(Tc-99)	6,04 h	140,5			
Te-132	78 h	228.2	4000	28.4	14
(I-132)	2,3 h				
Xe-133	5,27 d	80,97	390	21,3	1,8
I-131	8,07 d	364,47	520	7,75	6,7
Nd-147	11,1 d	91,06	220	6,36	3,5
Ba-140	12,8 d	162,7	500	9,73	5,1
(La-140)	40,22 h	329	560		
		486			
Ce-141	32,5 d	145,43	250	3,36	7,4
Ru-103	39,8 d	498	140	2,77	5,0
Zr-95	65,2 d	724	220	2,22	10,0
(Nb-95)	35 d	765			
Ce-144	285 d	133,5	150	0,36	42
Cs-137	30 y	661,6	145	0,0134	1170

[a]) Aus der Aktivität berechnete Anzahl Kerne.

[b]) Werte von [2] korrigiert mit dem Verhältnis der Spaltausbeuten von U-235 (Fissionsneutronen)/U-238 (14 MeV-Neutronen).

Die Vorteile der Anwendung selbst kleiner hochauflösender Ge(Li)-Dioden gegenüber den heute üblichen grossen NaI-Kristallen bei Überwachungsaufgaben zur Analyse komplexer Spektren lassen sich wie folgt zusammenfassen:

1. Die hohe Energieauflösung erlaubt den quantitativen Nachweis aller wesentlichen Komponenten des Gemisches.

2. Die Analyse kann sofort nach einer Messung erfolgen, wodurch sie beträchtlich an Wert gewinnt, weil sie die Basis bilden kann für weitere Informationen. So kann man in «heissen Teilchen» aus dem Verhältnis Zr-95/Nb-95 den Explosionszeitpunkt bestimmen und aus der Fraktionierung der Isotope Ce-144, Ce-141 und Ba-140 gegenüber ihrer Spaltausbeute [3], sowie aus dem Verhältnis U-237/Np-239 gegenüber den Fissionsprodukten [4, 5] können Rückschlüsse auf Kondensationsphänomene, beziehungsweise das Energiespektrum der Neutronen im Feuerball gezogen werden, was in gewissen Fällen Angaben über Kaliber und Bombentyp erlaubt.

3. Der Nachteil einer kleinen Ansprechwahrscheinlichkeit der Dioden wird durch deren hohe Energieauflösung gegenüber NaI-Kristallen zum grossen Teil kompensiert.

Wir danken dem Präsidenten der Eidg. Kommission zur Überwachung der Radioaktivität für sein Interesse an dieser Arbeit und Herrn Prof. E. BALDINGER, Basel, für die Überlassung der Diode. Herrn dipl. ing. L. RIBORDY, Fribourg, sind wir für die Entwicklung der Elektronik und Herrn dipl. phys. P. MÜLLER, Bern, für wertvolle Hinweise und Diskussionen zu grossem Dank verpflichtet.

Literaturverzeichnis

[1] A. H. WAPSTRA, G. J. NIJGH, R. VAN LIESHOUT, *Nuclear Spectroscopy Tables* (North-Holland Publishing Company, Amsterdam 1959).

[2] P. J. DOLAN, *Calculated Abundances and Activities of the Products of High Energy Neutron Fission of Uranium-238, Dasa 525, Mai 1959,* Headquarters Defense Atomic Support Agency (Washington 25, D.C.).

[3] A. SITTKUS, *Untersuchung eines bei einer Atombombenexplosion entstandenen Teilchens,* Z. Naturf. *19a,* 991–999 (1964).

[4] T. MAMURO, *Physico-Chemical Properties of Fallout Particles in Relation to Burst Conditions,* Atompraxis *14,* 24–28 (1968).

[5] K. G. VOHRA, *Some Aspects of Fallout from the First and Second Chinese Test,* A. E. E. T.-240 (1965).