

Analyse von Fensterfolien für Ultrakalte Neutronen

Susanne Ochse^a, Bernhard Kuczewski^b, Manfred Daum^c, Gabriele Hampel^a, Norbert Wiehl^a

Johannes Gutenberg - Universität Mainz, Institut für Kernchemie, Fritz - Strassmann - Weg 2, D-55128 Mainz, Deutschland; ^b TU Graz, Institut für Analytische Chemie und Radiochemie, A-8010 Graz, Österreich; ^c Paul Scherrer Institut, CH-5232 Villigen PSI, Schweiz;

Einleitung

Am Schweizer Paul Scherrer Institut ist derzeit eine intensive Quelle für Ultrakalte Neutronen (UCN) im Aufbau [1]. Neutronen bezeichnet man als ultrakalt, wenn ihre Energie kleiner als etwa 250 neV ist. Solche Neutronen kann man in speziell beschichteten Behältern oder magnetischen Fallen speichern. Dies ermöglicht sehr präzise Messungen der fundamentalen Eigenschaften des freien Neutrons. Von besonderem Interesse sind dabei die genaue Bestimmung der Lebensdauer und die Suche nach einem elektrischen Dipolmoment des Neutrons.

Bei dieser UCN Quelle werden die Neutronen durch Spallation erzeugt und dann in schwerem Wasser (4 m³) zunächst auf thermische Energien moderiert. Die Konversion in den ultrakalten Energiebereich erfolgt durch inelastische Streuung an festem Deuterium (sD₂). Die UCN, die das Deuterium mit einer Energie von etwa 100 neV verlassen, werden über speziell beschichtete Rohre zu den Experimenten geleitet. Aus Sicherheitsgründen muss der Behälter mit 30 l sD₂ gegenüber den evakuierten Neutronenleitern abgeschlossen sein. Dies erfordert ein Material, das einerseits die UCN möglichst verlustfrei durchdringen können, das aber andererseits eine hohe mechanische Stabilität aufweist. Die Transmissionseigenschaften für UCN hängen vom Fermipotential und vom Absorptionsquerschnitt eines Materials ab. Das Fermipotential bestimmt die Reflektion von UCN an dem Material und sollte möglichst niedrig im Vergleich zur UCN Energie sein.

Unter diesen Gesichtspunkten sind Fenster aus reinem Aluminium oder Aluminium Legierungen (AlMg3) sowie aus Zirkon oder Zirkalloy besonders vielversprechend. In der Praxis jedoch können auch geringe Verunreinigungen insbesondere durch Elemente mit einem großen Neutroneneinfangquerschnitt die Transmissionseigenschaften erheblich beeinflussen. Aus diesem Grund wurden verschiedene Materialien mit der INAA am TRIGA Mainz und ergänzend mit ICP-MS, ICP-OES und GF-AAS an der TU Graz analysiert.

Proben

Insgesamt wurden 9 verschiedene Materialien analysiert, davon 3 aus reinem Al, 2 aus AlMg3, 2 aus reinem Zr und 2 aus Zirkalloy (Zr110 und Zr125).

Qualitative und quantitative INAA

Für eine erste qualitative Analyse wurden die Zirkon - Proben über die Rohrpost ($\Phi_{\text{therm}}=1,7 \cdot 10^{12} \text{ n/cm}^2 \text{ s}$) 1 Minute und 5 Minuten und im Karussell ($\Phi_{\text{therm}}=7 \cdot 10^{11} \text{ n/cm}^2 \text{ s}$) 60 Minuten bestrahlt. Längere Bestrahlungszeiten wären wegen der Aktivierung des Zirkons nicht sinnvoll. Bei den Aluminium - Proben wären hingegen wegen der kurzlebigen ²⁸Al-Aktivität Kurzzeitbestrahlungen nicht sinnvoll. Diese Proben wurden für 1 Stunde und 6 Stunden im Karussell bestrahlt. Bei den Zr - Proben konnten dabei je nach Material 10 bis 13 Elemente

sicher nachgewiesen werden, darunter: Co, Hf, In und Mn, die alle einen Neutroneneinfangquerschnitt $\sigma_{\text{nabs}} > 10$ barn aufweisen. In den Al - Proben wurden abhängig vom Material zwischen 11 und 20 Elementen sicher nachgewiesen. Elemente mit $\sigma_{\text{nabs}} \approx 10$ barn waren hier: Co, Hf, In, Mn und La.

Für die quantitative Analyse wurden die Zr - Proben 1 h, die Al - Proben 1 h, 6 h und 10 h bei $7 \cdot 10^{11} \text{ n/cm}^2 \text{ s}$ zusammen mit Referenz - Standards bestrahlt. Dabei konnten in den Zr Materialien die Gehalte bzw. Nachweisgrenzen für die Elemente Cr, Fe, In, Hf, Mn, Ta, und Zn bestimmt werden. Die quantitative Analyse der Al Materialien bezog sich auf die Elemente Cr, Co, Fe, Ga, In, Hf, La, Mn, Ni, Sb, Sc, U, und Zn.

ICPMS und ICPOES

Da die Gehalte der starken Neutronenabsorber B (768 barn) und Cd (242 barn) mit der INAA nicht bestimmt werden können, wurden an denselben Materialien ergänzend Analysen mit ICP-MS, ICP-OES und GF-AAS durchgeführt. Zusätzlich wurden dabei auch viele der Elementgehalte mitbestimmt, die bereits mit der INAA gemessen worden waren, um etwaige Fehlerquellen und Interferenzen der verschiedenen analytischen Verfahren zu erkennen. Viele Gehalte konnten so mit bis zu 3 unterschiedlichen Methoden bestätigt werden.

Ergebnisse

Die Tabelle 1 zeigt exemplarisch für die Mn - Gehalte einiger der untersuchten Materialien die wesentlichen Ergebnisse der Analyse. Zunächst einmal stimmen die Ergebnisse der verschiedenen Verfahren gut miteinander überein. Die gemessenen Gehalte variieren über mehrere Größenordnungen, sind jedoch für alle untersuchten Elemente klein, d.h. der Neutronenabsorptionsquerschnitt der untersuchten Materialien wird durch die gefundenen Verunreinigungen nur unwesentlich erhöht. Auf Grund dieser Analysen sind daher alle Materialien für den Einsatz als UCN Fenster gleichermaßen geeignet.

Mn [g/g]	Zr (1)	Zr 110	Al (1)	AlMg3
INAA	$3,08 \cdot 10^{-6}$	$5,5 \cdot 910^{-7}$	$3,16 \cdot 10^{-5}$	$2,97 \cdot 10^{-3}$
ICP-MS	$3,01 \cdot 10^{-6}$	$8,53 \cdot 10^{-7}$	$3,07 \cdot 10^{-5}$	$5,31 \cdot 10^{-3}$
ICP-OES			$2,41 \cdot 10^{-5}$	$2,80 \cdot 10^{-3}$

Tabelle 1: Vergleich der Mn Gehalte [g/g] aus INAA, ICP-MS und ICP-OES Messungen für einige der untersuchten Materialien

[1] <http://ucn.web.psi.ch/>