

Aufnahme und Kalibrierung eines Röntgenenergiespektrums

Versuchsziele

- Aufnahme des Fluoreszenzspektrums eines Kalibriertargets aus verzinktem Stahl.
- Zweipunkt-Energiekalibrierung des aufgenommenen Spektrums.
- Überprüfung der Energiekalibrierung durch Identifizierung weiterer Linien des aufgenommenen Spektrums.

Grundlagen

Mit dem Röntgenenergie-detektor kann die Energie von Röntgenstrahlung bestimmt werden. Kern des Detektors ist eine Si-PIN-Photodiode, die zur Verringerung des Leckstromes mit einem Peltierelement gekühlt wird. In der PIN-Diode produziert die einfallende Röntgenstrahlung durch Wechselwirkung mit den Kristallatomen Elektron-Loch-Paare. Diese werden in einem elektrischen Feld getrennt und anschließend in einen Spannungsimpuls gewandelt. Die Anzahl der Elektron-Loch-Paare und die Impulshöhe sind proportional zur Röntgenenergie. Zur Impulshöhenanalyse wird ein Vielkanal-Analysator (VKA) verwendet, der an einen Computer (PC) angeschlossen ist.

PIN-Diode:

Die PIN-Diode besteht aus einem Silizium-Einkristall mit einer ungefähr 150 μm breiten intrinsischen (undotierten) Zone zwischen einer p- und einer n-Zone. In dieser Zone wird ein Teil der einfallenden Röntgenstrahlung absorbiert. Die Absorption eines Röntgenphotons geschieht durch Photoeffekt unter Auslösen eines schnellen Photoelektrons. Bis auf den der Bindungsenergie entsprechenden Anteil wird die Röntgenenergie also in kinetische Energie des Elektrons gewandelt. Das Elektron verliert seine Energie in Stößen mit den

Kristallatomen, wobei die Atome ionisiert werden und somit Elektron-Loch-Paare entstehen. Das erste, durch Photoeffekt ionisierte Atom kann seinerseits ein charakteristisches Röntgenphoton emittieren. Auch dessen Energie wird meist vollständig im Detektor absorbiert. Dann entspricht die insgesamt absorbierte und in Elektron-Loch-Paare gewandelte Energie der zu messenden Photonenenergie E_x . Im anliegenden elektrischen Feld der PIN-Diode werden Elektronen und Löcher getrennt und zu den Elektroden gezogen, bevor sie rekombinieren können.

Zur Erzeugung eines Elektron-Loch-Paares in Silizium ist im Mittel die Energie $\varepsilon = 3,8 \text{ eV}$ erforderlich. Die deutlich größere, absorbierte Röntgenenergie E_x wird somit in etwa

$$N_x = \frac{E_x}{\varepsilon} \quad (\text{I})$$

Elektron-Loch-Paare umgesetzt. D.h. die Zahl der Elektron-Loch-Paare ist proportional zu E_x und die zu den Elektroden gezogene Ladung beträgt

$$Q_x = e \cdot N_x \quad (\text{II}).$$

Diese Ladung gelangt in einen ladungsempfindlichen Vorverstärker und wird in einem Rückkopplungskondensator $C_F \approx 1 \text{ pF}$ aufgesammelt. Am Ausgang des Vorverstärkers entsteht also ein Spannungssignal

$$U_x = \frac{Q_x}{C_F} \quad (\text{III}).$$

Dieses Signal ist außerordentlich klein und wird deshalb mit einem linearen rauscharmen Verstärker vielfach elektronisch verstärkt. Schließlich erhält man das zur Röntgenenergie E_x proportionale Ausgangssignal

$$U'_x = A \cdot U_x \text{ mit } A \approx 1000 \quad (\text{IV}).$$

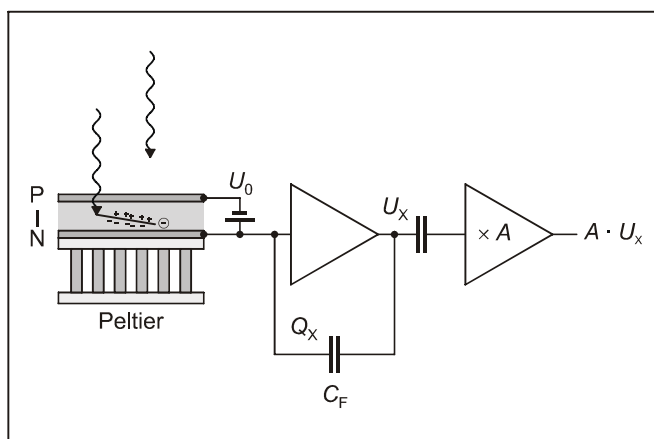


Fig. 1 Schematische Darstellung des Röntgenenergie-detektors

Geräte

1 Röntgengerät mit Röntgenröhre Mo und Goniometer	554 801/11 oder
1 Röntgengerät mit Röntgenröhre Cu und Goniometer	554 800 554 861 + 554 831
1 Röntgenenergiedetektor	559 938
1 Sensor-CASSY	524 010
1 VKA-Box	524 058
1 CASSY Lab	524 200
1 BNC Kabel 1 m	501 02
1 PC mit Windows 98 - Vista	

Vielkanal-Impulshöhenanalyse:

Die Weiterverarbeitung der Detektorsignale erfolgt in einem Vielkanal-Analysator (Sensor-CASSY + VKA-Box), dessen zentrale Komponente ein Analog-Digital-Wandler ist. Dieser misst die Impulshöhe U_X und wandelt den Messwert in einen dazu proportionalen digitalen Wert n_X . Genauer entspricht n_X einem Impulshöhenintervall, dessen Breite von der Auflösung des Analog-Digital-Wandlers abhängt. Der Computer ordnet jedem digitalen Wert einen Speicherplatz zu und zählt die Ereignisse in jedem Speicherplatz. Ergebnis ist ein Histogramm, das die Häufigkeitsverteilung der Impulshöhen repräsentiert.

Zur quantitativen Auswertung erforderlich ist eine Zweipunkt-Energiekalibrierung

$$E_X = a \cdot n_X + b \quad (V),$$

da die Faktoren der Proportionalitäten $E_X \sim Q_X \sim U_X \sim n_X$ unbekannt sind und außerdem der Nullpunkt des Analog-Digital-Wandlers nicht exakt justiert werden kann.

Das Röntgengerät erfüllt die Vorschriften über die Bauart einer Schulröntgeneinrichtung und eines Vollschutzgeräts und ist als Schulröntgengerät und Vollschutzgerät bauartzugelassen.

Durch die werksseitig eingebauten Schutz- und Abschirmvorrichtungen ist die Dosisleistung außerhalb des Röntgengeräts auf unter $1 \mu\text{Sv/h}$ reduziert, einen Wert, der in der Größenordnung der natürlichen Strahlenbelastung liegt.

■ Vor der Inbetriebnahme das Röntgengerät auf Unversehrtheit überprüfen (siehe Gebrauchsanweisung zum Röntgengerät).

■ Röntgengerät vor dem Zugriff Unbefugter schützen.

Eine Überhitzung der Anode in der Röntgenröhre ist zu vermeiden.

■ Bei Einschalten des Röntgengeräts überprüfen, ob sich der Lüfter im Röhrenraum dreht.

Das Goniometer wird ausschließlich über elektrische Schrittmotoren verstellt.

■ Targetarm und Sensorarm des Goniometers nicht blockieren und nicht mit Gewalt verstellen.

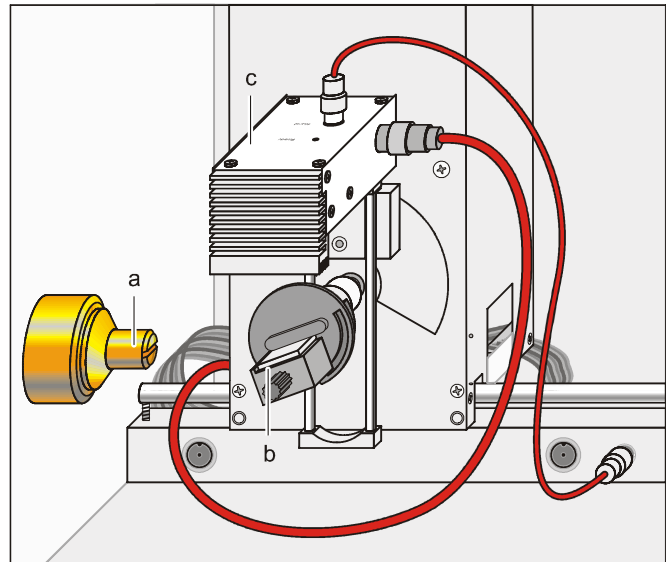


Fig. 2 Versuchsaufbau zur Aufnahme und Kalibrierung eines Röntgenenergiespektrums
Kollimator (a), Kalibriertarget (b), Röntgenenergiedetektor (b)


Aufbau

Der Versuchsaufbau ist in Fig. 2 dargestellt.

- Anschlusskabel des Tischnetzgerätes durch den Leerkanal des Röntgengerätes führen und an die Mini-DIN-Buchse des Röntgenenergiedetektors anschließen.
- Sensorhalter mit montiertem Röntgenenergiedetektor im Sensorarm des Goniometers befestigen.
- Signalausgang des Röntgenenergiedetektors mittels mitgeliefertem BNC-Kabel an die BNC-Buchse SIGNAL IN des Röntgengerätes anschließen.
- Anschlusskabel soweit nachführen, dass ein vollständiger Schwenk des Sensorarmes möglich ist.
- Taster SENSOR drücken und den Sensorwinkel mit Drehinsteller ADJUST von Hand auf 90° stellen.
- Sensor-CASSY an Computer anschließen und VKA-Box aufstecken.
- Ausgang SIGNAL OUT im Anschlussfeld des Röntgengerätes mittels BNC-Kabel mit VKA-Box verbinden.
- Abstände zwischen Spaltblende des Kollimators und Drehachse sowie zwischen Drehachse und Eintrittsöffnung des Röntgenenergiedetektors jeweils auf 5-6 cm einstellen.
- Kalibriertarget aus dem Lieferumfang des Röntgenenergiedetektors auf den Targettisch legen.
- Taster TARGET drücken und den Targetwinkel mit Drehinsteller ADJUST von Hand auf 45° stellen.

Durchführung

- Tischnetzgerät ans Netz anschließen (nach ca. 2 min leuchtet die Leuchtdiode „grün“ und der Röntgenenergiedetektor ist betriebsbereit).
- CASSY Lab aufrufen und die Messparameter „Vielkanalmessung, 256 Kanäle, negative Pulse, Verstärkung = -6, Messdauer = 300 s“ einstellen.

- Röhren-Hochspannung $U = 35$ kV, Emissionsstrom $I = 1,00$ mA einstellen und Hochspannung einschalten.
- Spektromaufnahme mit  oder Taste F9 starten.
- Nach Ablauf der Messzeit das Spektrum unter einem passenden Namen speichern.

Messbeispiel

Im Spektrum findet man mehrere Linien (siehe Fig. 3). Die beiden Linien mit der höchsten Zählrate sind die Fe $K\alpha$ - und die Zn $K\alpha$ -Linie. Sie werden zur Energiekalibrierung verwendet.

Auswertung

Energiekalibrierung:

- Mit den Tasten Alt+E das Dialogfenster „Energiekalibrierung“ öffnen und „globale Energiekalibrierung“ wählen.
- Die Energien der Fe $K\alpha$ -Linie (6,40 keV [1]) und der Zn $K\alpha$ -Linie (8,63 keV [1]) eintragen.
- Im Popup-Menü des Diagrammfensters den Menüpunkt „Weitere Auswertungen“ \rightarrow „Peakschwerpunkt berechnen“ auswählen und den Bereich der Fe $K\alpha$ -Linie (ohne unmittelbar benachbarte Linie kleinerer Zählrate) markieren.
- Ergebnis in das Dialogfenster „Energiekalibrierung“ eintragen.
- Anschließend den Schwerpunkt der Zn $K\alpha$ -Linie bestimmen und eintragen.
- Dialogfenster „Energiekalibrierung“ mit OK schließen.

Das Ergebnis der Energiekalibrierung ist in Fig. 4 abgebildet.

Identifizierung der $K\beta$ -Linien:

- Im Popup-Menü des Diagrammfensters den Menüpunkt „Röntgenenergien“ aufrufen und auf das Elementsymbol Fe klicken.
- Fenster mit Schaltfläche „OK“ schließen und durch mehrmaliges Drücken der Tasten Alt + \leftarrow die Markierungen der Fe L-Linien löschen.
- Menüpunkt „Röntgenenergien“ erneut aufrufen, auf das Elementsymbol Zn klicken und anschließend die Markierungen der Zn L-Linien löschen.

Es zeigt sich, dass die vier gemessenen Peaks können auf die Fluoreszenz der Hauptbestandteile Fe und Zn des verzinkten Stahlbleches zurückgeführt werden können (siehe Fig. 5).

Ergebnis

Mit dem Röntgenenergie-detektor kann die Energie von Röntgenstrahlung gemessen werden.

Hierzu ist eine Energiekalibrierung erforderlich, die als Zweipunktkalibrierung durchgeführt werden kann.

Literatur

- [1] gewichtete Mittelwerte aus
C. M. Lederer and V. S. Shirley, Table of Isotopes, 7th Edition, 1978, John Wiley & Sons, Inc., New York, USA.

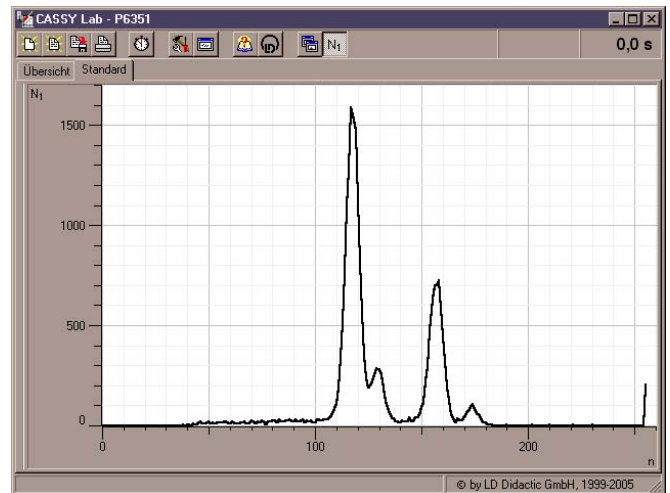


Fig. 3 Unkalibriertes Fluoreszenzspektrum des Kalibriertargets.

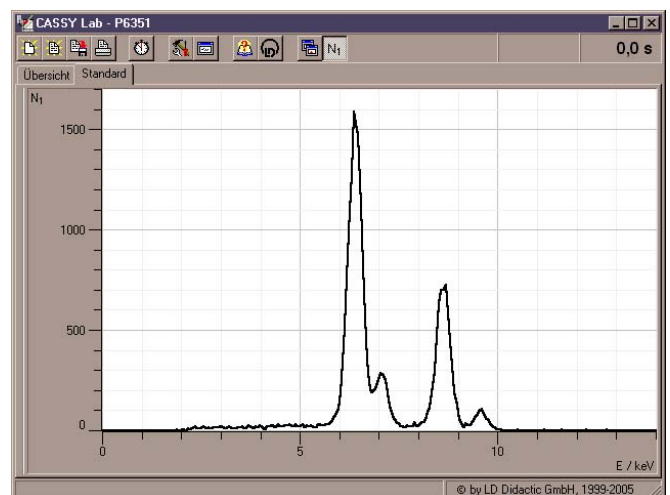


Fig. 4 Energiekalibriertes Fluoreszenzspektrum des Kalibriertargets

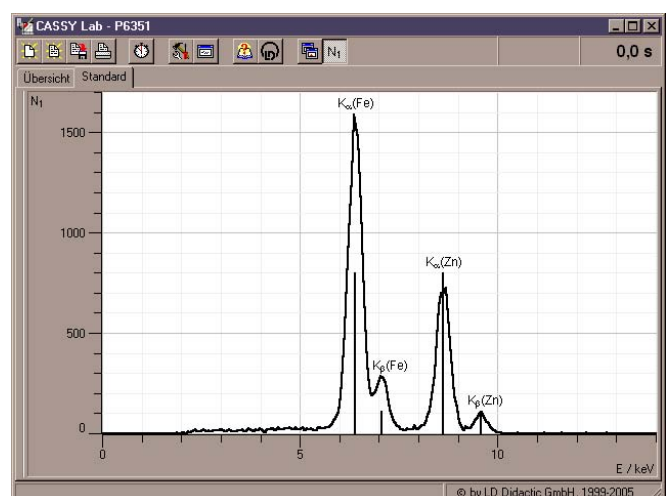


Fig. 5 Fluoreszenzspektrum des Kalibriertargets mit identifizierten Linien

