

Versuch No. 60

Positronen-Lebensdauermessung an Indium

E 21 - Ort: Gelände des Forschungsreaktor FRM-II, Flachbau, Labor 3

Christoph Hugenschmidt, Christian Piochacz, Martin Stadlbauer, Klaus Schreckenbach

Ziel

Positronen als Antiteilchen haben im Festkörper eine kurze Lebensdauer, da sie mit Elektronen annihilieren. In diesem Versuch soll zunächst ein Positronen-Lebensdauerspektroskop bestehend aus zwei schnellen BaF_2 -Detektoren und entsprechender nuklearer Elektronik aufgebaut werden. Nach Bestimmung der Auflösungsfunktion soll die Positronen-Lebensdauer in einer ausgeheilten Indium-Probe bestimmt werden, sowie die Änderung des Lebensdauerspektrums nach definierter mechanischer Belastung. Zusätzlich soll die Lebensdauer in Polymeren untersucht werden.

Physikalische Grundlagen

Trifft ein Positron auf einen Festkörper, so unterliegt es einer Vielzahl von Prozessen. Zunächst wird es inelastisch gestreut, bis es auf thermische Energie abgebremst ist. Danach kann es als quasifreies Teilchen über weite Strecken (~ 100 nm) diffundieren bis es entweder im ungestörten Kristallgitter oder nach Einfang in einer Fehlstelle (e^+ -Haftstelle) mit einem Elektron annihiliert. Solche Fehlstellen sind z.B. atomare Leerstellen, Mikrohöhlräume, Versetzungen sowie Korn- und Phasengrenzen. An diesen Defekten fehlen die positiv geladenen Atomrümpfe, weshalb sie ein attraktives Potential gegenüber dem ungestörten Festkörper darstellen. Da in diesen Fehlstellen die Elektronendichte geringer als im ungestörten Kristallgitter ist, erhöht sich die Positronen-Lebensdauer in defektreichen Materialien. Aufgrund dieser Prozesse hat sich das Positron als äußerst sensitives Sondenpartikelchen in der Defektspektroskopie durchgesetzt.

In der konventionellen Lebensdauermessung wird Na^{22} als Positronenquelle verwendet, da dieses Isotop unmittelbar nach dem β^+ -Zerfall ein γ -Quant aussendet, welches als Start-Signal dient. Die Annihilationsstrahlung der Positronen in der Probe, die direkt auf die Quelle gelegt wird, liefert das Stop-Signal.

Versuchsdurchführung

Im Rahmen des Versuchs sollen zum einen die Grundlagen der Positronenphysik und zum anderen die Techniken der hochauflösenden Zeitspektroskopie vermittelt werden. Im ersten Teil werden ausgehend von den physikalischen Prozessen denen das Positron im Festkörper unterliegt, Messmethoden in der nuklearen Festkörperphysik und die Lebensdauermessung im Speziellen erklärt und erarbeitet. Darüber hinaus soll ein Einblick über den Aufbau der Positronenquelle NEPOMUC, die Techniken zur Erzeugung eines monoenergetischen Strahls und die aktuellen sowie zukünftigen Positronenexperimente am FRM-II gegeben werden.

Im Zentrum des Versuchs steht der experimentelle Aufbau eines typischen Lebensdauerspektrometers. Hierfür werden die benötigten Komponenten der nuklearen Elektronik besprochen, der Unterschied zwischen verschiedenen Signaltypen erläutert und schließlich die Verkabelung des Aufbaus durchgeführt. Bei dem Aufbau handelt es sich um eine typische Fast-Slow-Koinzidenz mit zwei BaF₂-Detektoren. Während der Verschaltung der einzelnen Komponenten sollen die langsamen und schnellen Signale mit Hilfe eines digitalen Oszilloskops dargestellt, beurteilt und gegebenenfalls korrigiert und die Signalaufbereitung verfolgt werden.

Im Anschluss dieser Vorbereitungen, sollen mehrere Lebensdauerspektren aufgenommen werden. Die Spektren werden zunächst an einer Indium-Probe aufgenommen, wobei zu Versuchsbeginn die Probe ausgeglüht und somit defektfrei ist. Danach werden durch definierte Zugbeanspruchung der Probe Defekte erzeugt, wodurch in den Lebensdauerspektren eine zusätzliche lange Lebensdauer mit steigender Intensität beobachtbar wird. In einer zweiten Probe aus Polyethylen werden die für Polymere typischen langen Lebensdauerkomponenten beobachtet.

Auswertung der Versuchsergebnisse

Zunächst soll die Auflösungsfunktion aus den gemessenen Zeitspektren ermittelt werden. Dazu dient das ausgeglühte Indium, welches nur kurze Lebensdauern zeigen sollte.

Anschließend sollen die langen Positronen-Lebensdauern und deren Intensität in den Spektren der mechanisch beanspruchten Indium-Probe sowie der Polymer-Probe bestimmt werden. Hierfür soll die nun als bekannt vorausgesetzte Auflösungsfunktion mit einem angenommenen Lebensdauerspektrum gefaltet und iterativ an das gemessene Spektrum angepasst werden.

Diesem manuellen Verfahren wird gegenüber automatischen Auswerteprogrammen bewusst der Vorzug gegeben, da hierdurch die Zusammenhänge zwischen Messung, physikalisch relevantem Spektrum und Auflösungsfunktion klarer hervortreten.