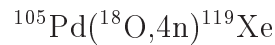


---

# Zusammenfassung

Die Neutrinoemission beim Zerfall  $\text{Te} \rightarrow \text{Sb}$  überträgt auf das Atom einen Rückstoß, dessen Energie zur Erzeugung von Frenkelpaaren ausreicht, sobald sie die Verlagerungsschwellenenergie des Materials übersteigt, in das es eingebaut ist. Der darauf folgende Zerfall  $\text{Sb} \rightarrow \text{Sn}$  belässt wegen seiner geringen Rückstoßenergie das Atom auf seinem momentanen Platz; der abschließende interne Kernübergang des Sn unter Emission eines 24keV  $\gamma$ -Quants dient als Sonde für die Mößbauerspektroskopie der entstandenen Defektsituation. In den beiden Verbindungshalbleitern InSb und CdTe konnte diese Methode angewandt werden, um isolierte intrinsische Punktdefekte zu erzeugen.

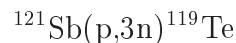
Die konstituierenden Elemente von InSb und CdTe sind, was ihre Kernmassen und -ladungen betrifft, so ähnlich, dass in beiden Fällen dieselbe Implantationstechnik angewandt werden konnte: die Reaktionen



und



plazieren über Rückstoßimplantation einige  $\mu\text{m}$  tief in den jeweiligen Kristall radioaktive Isotope, die innerhalb von Minuten zu Te zerfallen. Im Fall des InSb kann der Te-Zustand auch über die Reaktion



direkt über Protonenbestrahlung bevölkert werden. Die Ergebnisse an InSb lagen bereits vor und wurden für die vorliegende Untersuchung neu ausgewertet.

Beide Materialsysteme unterscheiden sich jedoch im Charakter ihrer Bindungen. Sowohl InSb als auch CdTe kristallisieren zwar über die  $sp^3$ -Hybridisierung in der Zinkblendestruktur mit zudem gleicher Gitterkonstante, CdTe bindet

aber ionischer, InSb kovalenter. Als Folge davon verhindert CdTe die Besetzung von Antistrukturplätzen im thermodynamischen Gleichgewicht, so dass sein Leitungstyp eine Funktion seiner Stöchiometrie wird - im Gegensatz zum InSb, dessen hoher Anteil Antistrukturatome keine kontrollierte Stöchiometrie zulässt. Die angewandte Ausheilmethode für CdTe hat über einen Te-Partialdampfdruck das Material vor und nach der Bestrahlung als p-leitend eingestellt; außerdem konnten so die entstandenen Implantationsschäden beseitigt werden. Nur der Beseitigung von Implantationsschäden diente die Ausheilung des InSb unter Edelgasfluss; herstellungsbedingt handelte es sich um n-typ InSb.

Die Auswertung der Experimente erforderte die Berücksichtigung aller Messparameter, sowohl der mikroskopischen Hyperfeinparameter Isomerieverschiebung und Quadrupolaufspaltung als auch der Linienintensität als Funktion der Zeit, wie sie aus den Halbwertszeiten der beteiligten Isotope errechnet werden konnte. Zur Identifizierung der Quadrupolaufspaltung war ferner die Tatsache wichtig, dass beide Linienschultern in der gegebenen Symmetrie gleiche Intensität haben.

Die Experimente lieferten für beide Materialien grundlegend verschiedene Ergebnisse, die auf ihrem unterschiedlichen Bindungscharakter beruhen (Tab.8). Der Neutrinorückstoß hat in InSb mehrere Sorten intrinsischer Defekte erzeugt, nämlich den interstitiellen Platz, gekennzeichnet durch eine hohe Isomerieverschiebung, und den substitutionellen Platz mit benachbarter Leerstelle auf jedem der beiden Untergitter, gekennzeichnet durch Quadrupolaufspaltungen und eine jeweils andere Ausheiltemperatur.

III-V InSb [n-typ]			II-VI CdTe [p-typ]		
IS [ $\frac{\text{mm}}{\text{s}}$ ]	$\Delta Q$ [ $\frac{\text{mm}}{\text{s}}$ ]	Deutung	IS [ $\frac{\text{mm}}{\text{s}}$ ]	$\Delta Q$ [ $\frac{\text{mm}}{\text{s}}$ ]	Deutung
2.0(1)	-	$\text{Sn}_{\text{Sb}}$	2.4(1)	2.0(1)	$\text{Sn}_{\text{Te}}$
2.4(1)	1.2(1)	$\text{Sn}_{\text{Sb}} - \text{V}_{\text{In}}$	-	-	-
3.8(1)	-	$\text{Sn}_{\text{i}}$	-	-	-
1.7(1)	1.7(1)	$\text{Sn}_{\text{In}} - \text{V}_{\text{Sb}}$	2.5(1)	5.0(2)	$\text{Sn}_{\text{Te}} - \text{V}_{\text{Cd}}$

Tabelle 8: Ergebnisse der Messungen an InSb und CdTe. Die Werte bilden einen gerundeten Mittelwert aus den Messparametern aller Experimente. *IS*: Isomerieverschiebung, *ΔQ*: Quadrupolaufspaltung. Zur Deutung siehe *Messungen an InSb: Interpretation* und *Messungen an CdTe: Interpretation*

Der Neutrinorückstoß hat in CdTe dagegen nur eine Defektsituation erzeugt, die von einem Feldgradienten begleitet ist, dessen Größe bislang nur in Polymeren gemessen worden ist. Das zeitliche Verhalten der Linienintensität und ihr Temperverhalten haben vor allem die Defektcharakterisierung in CdTe ermöglicht und gezeigt, dass der Neutrinorückstoß die mit dem Feldgradienten gekennzeichnete Defektsituation erzeugt hat. Vermutlich hat sich hier ein kombinierter Defekt aus Leerstelle und einer weiteren tiefen Störstelle gebildet, deren Wechselwirkung das Gitter lokal so weit verzerrt, dass sich dieser große Feldgradient ausbildet. Der substitutionelle Platz der Sonde äußert sich ebenfalls in einer Quadrupolaufspaltung. Eine Messung bei erhöhter Temperatur (77K) verringert ihre Intensität im Gegensatz zur großen Quadrupolaufspaltung drastisch, ein Anzeichen für einen Jahn-Teller-Effekt, der von der statischen Verzerrung zur dynamischen übergegangen ist.

Bei Ausheiltemperaturen oberhalb 600°C zeigte sich eine zusätzliche Einzellinie in CdTe mit gegenüber dem substitutionellen Platz stark verringerter Isomerieverschiebung; eine Betrachtung ihrer Intensität als Funktion der Messzeit konnte sie als SnO<sub>2</sub>-Komplex identifizieren, der auf eine anziehende Wechselwirkung des radioaktiven Sb mit intrinsischem Sauerstoff bei erhöhter Ausheiltemperatur zurückgeführt werden konnte.

Eine Schwäche der Messungen an CdTe gegenüber denen an InSb liegt sicher in der um Größenordnungen geringeren Statistik der Spektren. Verantwortlich dafür ist die höhere Sondenausbeute bei Bestrahlung mit Protonen, die sich praktisch homogen über die gesamte Kristalltiefe erstreckt, im Gegensatz zur Rückstoßimplantation durch Schwerionenreaktion, deren projektierte Reichweite sich auf wenige  $\mu\text{m}$  beschränkt. Ein <sup>121</sup>Sb-dotierter CdTe-Kristall (Sb:CdTe) würde sich darum als Probenmaterial zur Aktivierung durch Protonenbestrahlung anbieten. Nicht nur würde sich die Sondenkonzentration, die sich natürlich nach dem stöchiometrischen Anteil <sup>121</sup>Sb des Kristalls richtet, erhöhen lassen, sondern auch die angewandte Ausheilmethode würde einer Prüfung unterzogen; da sich nämlich die Sonden homogen über das Kristallvolumen verteilen, befinden sie sich im Mittel hinreichend weit von der Oberfläche entfernt, um deren Einfluss ausschließen zu können. Darüber hinaus könnte diese veränderte Versuchsbedingung das Auftreten des großen Feldgradienten sowie die Entstehung der Jahn-Teller-Verzerrung noch einmal überprüfen.

Der große Feldgradient folgt möglicherweise auch aus einem metastabilen Ladungszustand, der sich kurzzeitig nach dem Sb→Sn-Zerfall gebildet hat. Da Sn in CdTe eine tiefe Störstelle bildet, wird die Relaxationszeit für die elektronische Unordnung um den Kern, die der Elektroneneinfang auslösen

kann, länger sein als bei flachen Störstellen. Falls diese Zeit größer als die Lebensdauer des Mößbauerniveaus ist, kann sich dieser Anregungszustand in einem großen Feldgradienten niederschlagen. Dieser Zustand könnte allerdings nur in Kombination mit dem durch den Rückstoßprozess gebildeten Defekt entstehen; denn die Quadrupolaufspaltung ist, wie ihr Zeit- und Temperaturverhalten anzeigen, vom Neutrinorückstoß gebildet. Eine Untersuchung an n-typ CdTe könnte klären, ob dieser metastabile Zustand von der Lage des Fermi-niveaus abhängt, vorausgesetzt, in diesem Leitungstyp würde sich die Defektsituation überhaupt ausbilden. n-Leitung an CdTe ließe sich relativ leicht durch Einstellung der Stöchiometrie mit Ausheilung unter Cd-reicher Atmosphäre herstellen. Auch würde der Leitungstyp den Jahn-Teller-Effekt entscheidend beeinflussen: in n-typ CdTe liegt das Fermi-niveau über dem  $t_2$ -Orbital und füllt es vollständig mit Elektronen, so dass der Anlass für eine Jahn-Teller-Verzerrung der kristallinen Umgebung entfällt und nur noch eine Einzellinie statt einer Quadrupolaufspaltung zu beobachten sein müsste.