
Intrinsische Punktdefekte in
InSb und CdTe

Mößbauerspektroskopische Untersuchungen an ^{119}Sn

DISSERTATION

dem Fachbereich Physik
der

FREIEN UNIVERSITÄT BERLIN

vorgelegt von

Martin Müller

BERLIN 2001

Abstract

Point defects in semiconductors play an important role in governing the material's electronic properties. Intrinsic point defects consist of the displaced atoms of the lattice itself and in general form deep levels that act as trapping centers for conduction electrons. Nonmagnetic intrinsic centers in low concentrations are best accessible to investigation through radioactive probe atoms placed in the atomic neighbourhood of the defect. The decay of a radioactive atom, substitutionally incorporated into the lattice of the semiconductor, can produce a single isolated Frenkel-pair, if the recoil energy of the neutrino-emission accompanying the decay exceeds a certain threshold energy.

The neutrino-recoil-method is used to investigate the formation of intrinsic point defects in the two compound semiconductors InSb (n-type) and CdTe (p-type). Radioactive Te is implanted into InSb via a proton-induced reaction, into CdTe via a heavy-ion reaction. The subsequent decay to Sb transfers a recoil energy to the atom, that lies just above the threshold energies in both semiconductors as they have been obtained through electron-irradiation experiments. The following decay leads to Sn, that is used as a probe atom for Mößbauer-spectroscopy.

The analysis and interpretation of the experimental results require the consideration of all available measurement parameters, namely the hyperfine parameters isomer shift and quadrupole splitting as well as the line intensity as a time-dependent parameter.

The results of the two materials differ from each other fundamentally. InSb displays three different types of intrinsic point defects created by the neutrino recoil process, i.e. an interstitial site and a site on each of its sublattices with an adjacent vacancy, whereas CdTe shows only one, which is accompanied by an unexpectedly large field gradient. In addition, the substitutional site in CdTe induces a significant distortion of its local surrounding, that can be proved to be due to a Jahn-Teller-effect.

Furthermore, within CdTe Sb attracts intrinsic oxygen when being annealed at temperatures well above 600°C, a process that exhibits itself in the formation of SnO₂-complexes.

Zusammenfassung

Punktdefekte in Halbleitern beeinflussen wesentlich die elektronischen Eigenschaften des Materials. Intrinsische Punktdefekte bestehen aus verschobenen Atomen des Gitters selbst und bilden im allgemeinen tiefe Störstellen, die Leitungselektronen oder Löcher einfangen können. Nichtparamagnetische intrinsische Zentren können, wenn sie nur in geringer Konzentration vorliegen, am besten durch radioaktive Sonden untersucht werden, die in die atomare Umgebung des Defektes plaziert werden. Der Zerfall eines radioaktiven Atoms, das substitutionell in das Halbleitergitter eingebaut ist, kann einzelne, isolierte Frenkelpaare erzeugen, falls die Rückstoßenergie der Neutrinoemission beim Zerfall eine materialspezifische Schwellenenergie überschreitet.

Die Neutrinorückstoßmethode wird angewandt, um die Bildung von intrinsischen Punktdefekten in den beiden Verbindungshalbleitern InSb (n-typ) und CdTe (p-typ) zu untersuchen. Radioaktives Te wird in InSb über eine protoneninduzierte Reaktion implantiert, in CdTe über eine Schwerionenreaktion. Der folgende Zerfall des Te zum Sb überträgt auf das Atom eine Rückstoßenergie von 12eV, ein Wert, der gerade über den Schwellenenergien beider Halbleiter liegt, wie sie mit Elektronenstrahlexperimenten ermittelt worden sind. Der abschließende Zerfall führt zum ^{119}Sn , das als Sondenatom für die Mößbauerspektroskopie ausgenutzt wird.

Die Auswertung und Deutung der Experimente erfordern die Berücksichtigung aller verfügbaren Messparameter, nämlich der Hyperfeinparameter Isomerieverschiebung und Quadrupolaufspaltung sowie der Linienintensität als einem zeitabhängigen Parameter.

Beide Materialien liefern völlig verschiedene Messergebnisse. InSb zeigt drei verschiedene Typen intrinsischer Punktdefekte, die vom Neutrinorückstoß erzeugt worden sind, nämlich einen Zwischengitterplatz und einen Gitterplatz auf jedem der beiden Untergitter mit benachbarter Leerstelle; demgegenüber zeigt CdTe nur einen neutrinorückstoßinduzierten Defektyp, der von einem unerwartet großen Feldgradienten begleitet ist. Außerdem verursacht der substitutionelle Platz in CdTe eine beträchtliche Verzerrung seiner lokalen Umgebung, was als Folge eines Jahn-Teller-Effektes gedeutet werden kann. Darüber hinaus zieht in CdTe Sb intrinsischen Sauerstoff an, sobald es bei Temperaturen oberhalb von 600°C ausgeheilt wird, ein Vorgang, der sich in der Bildung von SnO_2 -Komplexen äußert.

1. Gutachter: Dr. R. Sielemann / Prof. W. Brewer
2. Gutachter: Prof. N. Schwentner

Tag der Disputation: 16.1.2002

Inhalt

<i>Punktdefekte in InSb und CdTe</i>	9
Defektarten in Verbindungshalbleitern	10
Thermodynamik von Punktdefekten	11
Bestrahlungserzeugte Defekte	15
Defekterzeugung durch Neutrinorückstoß	17
<i>Punktdefektuntersuchung durch Mößbauerspektroskopie</i>	19
Hyperfeinparameter	20
Erzeugung und Eigenschaften der Sonde ^{119}Sn	25
Präzision und Auflösung der Spektren	34
Zeitverhalten der Linienintensität	37
<i>Experimentdurchführung</i>	49
Probenpräparation	50
Probenimplantation	51
Experimentaufbau	54
Auswertemethode	59
<i>Messungen an InSb</i>	61
Ergebnisse	62
Interpretation	75
<i>Messungen an CdTe</i>	83
Ergebnisse	84
Interpretation	96
Test des Jahn-Teller-Effektes	100
Ausheilverhalten des Sb	106
<i>Zusammenfassung</i>	113
A <i>Linienintensitäten der Quadrupolaufspaltung</i>	117
B <i>Jahn-Teller-Verzerrung in tetraedrischer Symmetrie</i>	123
C <i>Leitungstypbestimmung über Seebeck-Effekt</i>	127

Persönliche Daten

Martin Müller
e-mail: *martin.t.mueller@freenet.de*

Geburtstag 10. 09. 1967
Geburtsort Berlin, Deutschland

Ausbildung

1974-1987 Grundschule Sankt Ludwig Berlin
1978-1987 Gymnasium Canisius-Kolleg Berlin

Studium der Physik

1987-1992 Technische Universität Berlin
1992-1995 Rijksuniversiteit Groningen
1995-1997 Forschungsstipendiat an der Freien Universität Berlin, Bereich Halbleiterphysik
ab 1997 Promotion als wissenschaftlicher Angestellter am Hahn-Meitner-Institut Berlin GmbH

