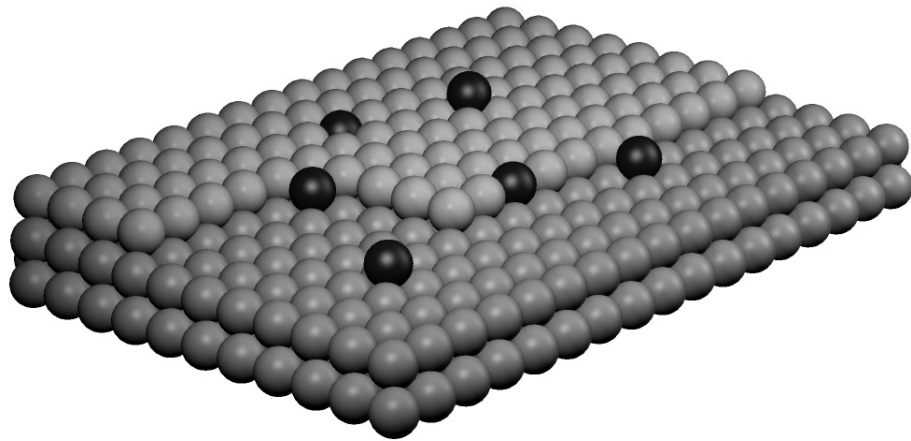


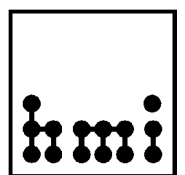
Przemyslaw Imielski

Untersuchungen von magnetischen und strukturellen Eigenschaften mittels lokalen Sonden



Inauguraldissertation zur Erlangung der Doktorwürde
eingereicht am Fachbereich Physik
der Freien Universität Berlin

September 2007



Untersuchungen von magnetischen und strukturellen Eigenschaften mittels lokalen Sonden

Inauguraldissertation zur Erlangung der Doktorwürde
eingereicht am Fachbereich Physik
der Freien Universität Berlin

vorgelegt von
Przemyslaw Imielski

aus Poznań
(Polen)

- September 2007 -

*Ein zufriedener Mensch erwartet vom Leben nicht mehr,
als das Leben ihm geben kann.
Ein zufriedener Mensch wirkt Wunder;
Manche Probleme, die andere zugrunde richten, gehen vor ihm aus dem Weg.
Ein zufriedener Mensch genießt die Tage so wie er sie bekommt.
Wer zuviel erwartet und fordert, zieht dunkle Wolken auf sich.
Er macht sich selbst die schlechten Tage.
<Phil Bosmans>*

*Fantasie ist wichtiger als Wissen.
<Albert Einstein>*

*Mojej Rodzince
Meiner Familie*

Diese Dissertation wurde in der AG Brewer
am Institut für Experimentalphysik
der Freien Universität Berlin angefertigt.

1. Gutachter : Prof. Dr. William Brewer
2. Gutachter : Prof. Dr. Jürgen Bosse

Tag der mündlichen Prüfung: 31.10.2007

Abstract

The signs of the magnetic hyperfine fields of Cd-probes in contact with Ni-atoms were determined for the positions with coordination numbers $NN = 4, 5, 6, 7$ and 9 using an external magnetic field with the TDPAC method. In these experiments, our group for the first time successfully used a magnet system together with a $135^\circ/45^\circ$ -detector geometry. The positions of the radioactive Cd probes on a Ni single crystal surface were carefully prepared by an annealing procedure. The signs of the magnetic hyperfine fields for the positions with $NN = 9, 7, 6$ and 5 were negative, while the sign was positive for the position with $NN = 4$. The magnitudes of B_{hf} and V_{zz} , measured in this work are summarised in table 6.1.

The results confirm the theoretical calculations of Mavropoulos using the Greens function embedding method [Mav03] and demonstrate that the hyperfine fields change signs between $NN = 5$ and 4 .

The second part of this work focuses on Eu probe atoms.

In a series of measurements employing the TDPAC method, the behaviour of Eu ions was investigated in a ZnO single-crystal host and on Pd surfaces. The direct implantation of ^{149}Eu into ZnO single crystals followed by measurements at room temperature yielded spectra showing a pure quadrupole interaction. From the combined interactions applying an external magnetic field, Eu in the ZnO single crystal was determined to be divalent.

The Eu experiments on a Pd surface were first proposed in the thesis of K. Potzger, who suggested that the majority of the probe atoms may experience a unique and similar environment due to self organization. The Eu probes were deposited onto the Pd surface by soft landing. At room temperature, the ^{147}Eu probes on Pd exhibited a pure quadrupole interaction with a unique frequency.

The measurements with europium still require several complementary experiments to study the rare earth atoms, for example to determine the quadrupolar moment of the $11/2^-$ -level of the europium isotopes used.

Inhaltverzeichnis

Abstract	5
Inhaltverzeichnis	7
Einleitung und Motivation	11
1. Allgemeine Grundlagen	15
1.1. Magnetismus	15
1.1.1. Ferromagnetismus	17
1.1.2. Paramagnetismus in Metallen	18
1.1.3. Curie-Gesetz	20
1.1.4. Gesamtdrehimpuls und elektronischer Grundzustand von Atomen und Ionen	21
1.1.5. Bestimmung des Grundzustandes	22
1.1.6. Van Vleck-Paramagnetismus	23
1.1.7. Magnetische Hyperfeinwechselwirkung	25
1.1.8. Elektrische Hyperfeinwechselwirkung	29
1.2. Seltene Erden	34
1.2.1. Ionische Eigenschaften von Seltenen-Erd-Atomen in Metallen	35
1.2.2. Termschema des Grundzustandes der Seltenen Erden	36
1.2.3. Das Element Europium	38
2. Grundlagen der gestörten Winkelkorrelationsspektroskopie (TDPAC - Time Differential Perturbed Angular Correlations Spectroscopy)	41
2.1. Die $\gamma\gamma$ -Winkelkorrelation	42
2.1.1. Die ungestörte $\gamma\gamma$ -Winkelkorrelation	42
2.1.2. Die gestörte $\gamma\gamma$ -Winkelkorrelation	44
2.2. Aufnahme der PAC-Spektren	46
2.3. Detektorkonfiguration	48
2.3.1. Standardgeometrie (180°/90°-Detektorgeometrie)	49
2.3.2. Vorzeichen-empfindliche-Detektorkonfiguration (135°/45°)	51
2.3.3. Definition von Winkeln relativ zum Laborsystem	52
2.4. PAC-Kerne	53
2.4.1. $^{111}\text{In} / ^{111}\text{Cd}$	53
2.4.2. $^{111\text{m}}\text{Cd} / ^{111}\text{Cd}$	54
2.4.3. $^{147}\text{Gd} / ^{147}\text{Eu}$	55
2.4.4. $^{149}\text{Gd} / ^{149}\text{Eu}$	56
3. Experimentelle Methoden	58
3.1. UHV-Kammer ASPIC	58
3.2. Das „Soft-Landing“ der Isotope auf Oberflächen	61
3.3. Verwendete Ni-kristalle	63

3.4. <i>Präparation von Adsorbatplätzen an einer Oberfläche</i>	65
3.5. <i>Das externe Magnetfeld</i>	68
4. Standort der Messapparatur	72
4.1. <i>Der Massenseparator ISOLDE</i>	72
4.2. <i>ISL-Berlin (Ionen-Strahl-Labor)</i>	73
5. Probenpräparation und Analyse	75
5.1. <i>Beugung niederenergetischer Elektronen an Oberflächen (LEED - Low Energy Electron Diffraction)</i>	75
5.2. <i>Augerelektronen-Spektroskopie (AES)</i>	77
5.3. <i>Quadrupol-Massenspektrometer</i>	80
5.4. <i>Argon-Sputtern</i>	81
5.5. <i>Elektronenstoßheizung</i>	82
5.6. <i>Präparation dünner Filme</i>	83
5.7. <i>Einkristallpräparation und Analyse</i>	84
6. Das Vorzeichen der magnetischen Hyperfeinfelder an verschiedenen Plätzen auf der Ni-Oberfläche	88
6.1. <i>Der substitutionelle Terrassenplatz (NN=9) auf einer vizinal geschnittenen Ni(111)-Oberfläche</i>	89
6.1.1. <i>Standard Detektorkonfiguration (180°/90°)</i>	89
6.1.2. <i>Kombinierte Wechselwirkung</i>	90
6.1.3. <i>Die Vorzeichen-empfindliche Detektorkonfiguration (135°/45°)</i>	93
6.1.4. <i>Das angelegte externe Magnetfeld</i>	94
6.2. <i>Das Vorzeichen der freien inneren Eckplätze (NN=5) auf Ni(111)</i>	96
6.3. <i>Der substitutionelle Kantenplatz (NN=7) auf Ni(111)</i>	98
6.4. <i>Der freie innere Eckenplatz (NN=6) auf der Ni(111)-Oberfläche</i>	99
6.5. <i>Der freie Terrassenplatz (NN=4) auf Ni(001)</i>	99
6.6. <i>Systematik der gemessenen magnetischen Hyperfeinfelder</i>	100
6.7. <i>Systematik der gemessenen Feldgradienten</i>	107
7. Untersuchungen an isolierten Eu-Atomen in ZnO-Kristallen und auf der Pd-Oberfläche	111
7.1. <i>Paramagnetischen Verstärkungsfaktors und simulierte R(t)-Spektren</i>	113
7.2. <i>Implantation und Deponierung der Eu-Sonden</i>	116
7.3. <i>Gammapektren von ¹⁴⁷Gd/¹⁴⁷Eu</i>	118
7.4. <i>Messergebnisse und Interpretationen für die Eu-Sonden</i>	119
7.4.1. <i>Die elektrische Quadrupolwechselwirkung: ¹⁴⁹Eu in ZnO</i>	119

7.4.2. Die kombinierte Wechselwirkung: ^{149}Eu in ZnO. Die Bestimmung der Valenz. 121

7.4.3. Das erste Experiment auf der Oberfläche: ^{147}Eu auf der Pd(111)-Oberfläche 122

Zusammenfassung und Ausblick 125

Literaturverzeichnis 127

Lebenslauf 133

Danksagung 135