

3. Experimentelle Methoden

Für die Messungen von Hyperfeinfeldern auf einkristallinen ferromagnetischen Oberflächen müssen in einem ersten Schritt die Kristalloberflächen in hoher Reinheit und wohlgeordneter Struktur präpariert werden. Grundvoraussetzung ist die Durchführung aller experimentellen Schritte im Ultrahochvakuum (UHV). UHV wird in einer Apparatur erreicht, wenn der Druck unter 10^{-10} mbar abgesenkt wird. Bei einem Restgasdruck von 10^{-6} mbar dauert es nur etwa eine Sekunde, bis jedes Oberflächenatom durchschnittlich einmal von einem Restgasteilchen getroffen wird. Messungen an sauberen Oberflächen lassen sich unter diesen Bedingungen nur in Bruchteilen einer Sekunde der Präparation der Oberfläche durchführen. Diese Messzeit steigt umgekehrt proportional zum Druck und erfordert für den überwiegenden Teil der Untersuchungstechniken Drücke unter 10^{-10} mbar.

Das Aufbringen von Ionen auf eine Oberfläche, die physikalischen Grundlagen der im Rahmen dieser Arbeit angewandten experimentellen Methoden und auch der benötigten apparativen Einrichtungen werden in den nächsten Kapiteln beschrieben. Es werden die Messapparatur ASPIC sowie die Einrichtungen ISOLDE⁸ (Abschnitt 4.1) und ISL⁹ (Abschnitt 4.2) vorgestellt. Mit der Beugung niederenergetischer Elektronen (Abschnitt 5.1) sowie der Augerelektronen-Spektroskopie (Abschnitt 5.2) wird dann zunächst auf die konventionellen Oberflächenanalysemethoden eingegangen. Eine Einführung in die kernphysikalische Methode der γ -Winkelkorrelation ist im vorherigen Kapitel (Abschnitt 2) gegeben worden.

3.1. UHV-Kammer ASPIC

Die Präparation und die Messungen im Rahmen dieser Arbeit werden in der UHV-Messkammer ASPIC - Apparatur for Surface Physics and Interfaces at CERN¹⁰ (Abbildung 3.1.1) durchgeführt, die seit 1994 am Massenseparator ISOLDE/CERN in Genf aufgebaut ist.

Die an der ISOLDE durch Kernreaktionen erzeugten radioaktiven Sonden werden wahlweise über einen der beiden Separatoren, GPS¹¹ oder HRS¹² in Form eines niederenergetischen Ionenstrahls (bis zu $E = 60$ keV) in die Messapparatur geleitet.

⁸ The Isotope Separator On-Line Device (ISOLDE).

⁹ Das Ionen-Strahl-Labor (ISL-Berlin)

¹⁰ Die Europäische Organisation für Kernforschung (frz. Organisation Européenne pour la Recherche Nucléaire, vormals Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire = CERN).

¹¹ General Purpose Separator.

¹² High Resolution Separator.

In der Abbildung 3.1.1. ist der Aufbau schematisch gezeigt, in Abbildung 3.1.2. ist ein Foto der Apparatur mit den installierten γ -Detektoren zu sehen.

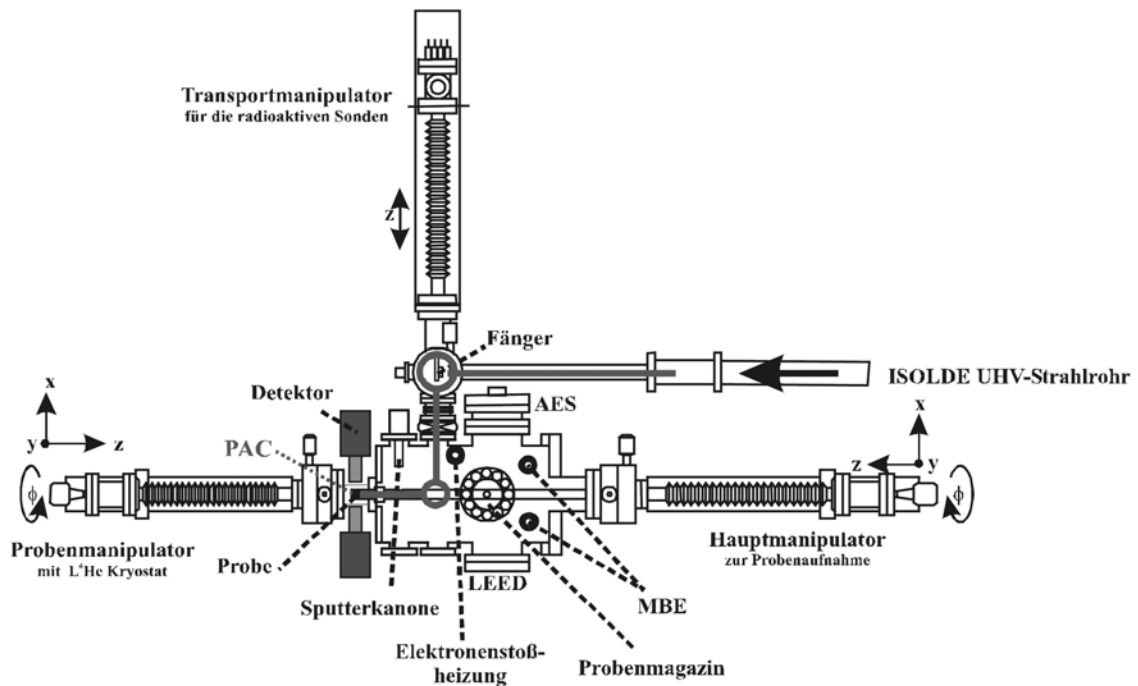


Abbildung 3.1.1: Eine schematische Darstellung der verwendeten UHV-Apparatur (ASPIC-Kammer) mit dem UHV-Strahlrohr des Massenseparators ISOLDE.

Die verwendete UHV-Anlage besteht im Wesentlichen aus zwei Sektionen, die durch ein Ventil getrennt sind (siehe Abbildung 3.1.1). Die direkt am Strahlrohr des Massenseparators angebaute Vorkammer dient zur Sammlung und weiteren Präparation der radioaktiven Sondenatome. Mit dem Transportmanipulator werden diese in die Hauptkammer gebracht. Es besteht die Möglichkeit, Sondenatome auf die Oberfläche der Einkristalle zu bringen. Hier kommt die sogenannte Soft-Landing-Methode (indirekte Deposition) zum Einsatz. Diese erlaubt die radioaktiven Atome bei tiefen Temperaturen auf die Oberfläche (Adatomplätze) zu bringen und über anschließendes Tempern verschiedene Konfigurationen mit verschiedenen Koordinationszahlen zu präparieren. Diese Präparationsmöglichkeit ist einer der großen Vorteile von ASPIC.

In der Hauptkammer lassen sich u.a. die Probenpräparation durch Sputtern und Tempern sowie kontrolliertes Aufdampfen von atomaren Schichten mittels thermischer Evaporation ausführen. Die Qualität der Oberflächen und Schichten wird durch Elektronenbeugungsexperimente (LEED¹³) sowie Augerelektronen-Spektroskopie (AES¹⁴) geprüft.

¹³ Low Energy Electron Diffraction (LEED)

¹⁴ Augerelektronen-Spektroskopie (AES)

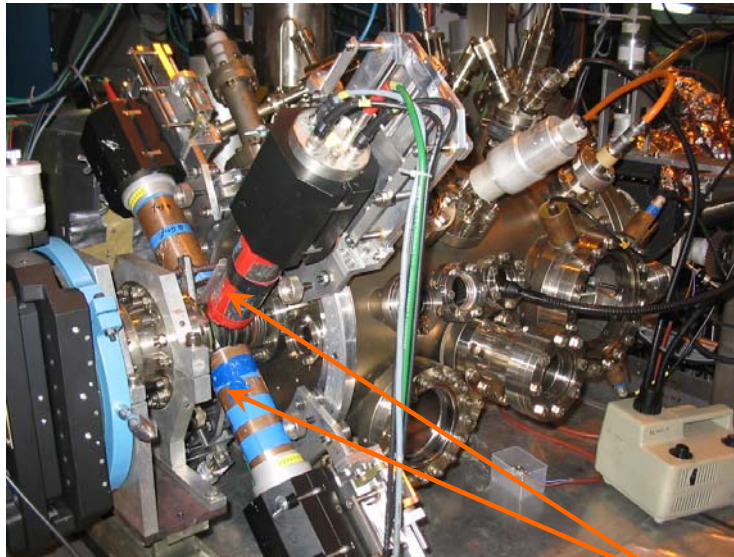


Abbildung 3.1.2: Foto von ASPIC. Im vorderen Teil sind die γ -Detektoren zu sehen.

Um die PAC-Messungen durchführen zu können, ist zu einer Seite der Hauptkammer ein Glaszylinder (die sogenannte Glasnase) eingebaut. Die vier Detektoren (Abbildung 3.1.2) sind auf Schlitten montiert, die auf einem an der Stirnseite der Kammer befestigten Kranz fixiert sind und konzentrisch um die Glasnase gedreht werden können. Die Abstände der Detektoren von der Glasnase können verändert werden, wobei man durch die Größe der Glasnase auf einem minimalen Abstand von ca. 30 mm zur Probe beschränkt ist.

An den Seiten der Präparations- bzw. der Messkammer sind die Manipulatoren befestigt. Mit ihnen lassen sich die Proben und die radioaktiven Sonden zwischen den Rezipienten zu den verschiedenen Analyseplätzen transferieren. Außerdem dienen sie zur Probenhalterung für Untersuchungs- und Präparationsmethoden in der Kammer. Dabei können die Proben in jeder Messposition auf unterschiedliche Temperaturen gebracht werden. Mit einem „Wobblestick“ kann man passende Kristalle von dem Magazin herausnehmen, ohne das UHV zu brechen, sie auf eine erwünschte Position auf dem Manipulator setzen und von dem Manipulator wieder herunternehmen. Das drehbare Probenmagazin (siehe Abbildung 3.1.1) bietet 11 Probenplätze. Die Probe ist für die Präparation, zur Analyse sowie für PAC-Messungen auf einem Manipulator montiert. Dieser Manipulator ermöglicht es durch drei translatorische Freiheitsgrade x , y , z und einen Rotationsfreiheitsgrad φ (Drehung in der x - y -Ebene), die Probe zu den jeweiligen Analysegeräten zu fahren. Der Halter kann die Probe durch ein Heizelement auf eine Temperatur von maximal 800 K erhitzen. Durch eine Flüssig-Stickstoff-Kühlung können minimale Temperaturen von ca. 100 K erreicht werden. Mit einem zweiten Manipulator kann die Probe durch eine Flüssig-Helium-Kühlung bis 35 K abkühlt werden. Auch dieser Manipulator hat vier Freiheitsgrade für die Bewegung des Probenkopfes (x' , y' , z' , φ').

Der Basisdruck in dieser Kammer liegt bei $5 \cdot 10^{-11}$ mbar. Dieses Vakuum wird durch den Einsatz eines speziellen Pumpensystems erreicht. Das Vorvakuum aller UHV-Apparaturen wird jeweils durch Drehschieberpumpen bis zu einem Druckbereich von $1.5 \cdot 10^{-2}$ mbar, der Hochvakuumbereich durch Turbomolekularpumpen bis $1 \cdot 10^{-9}$ mbar, sowie das Ultrahochvakuum durch eine Ionengetter- und eine Titansublimationspumpe bis $5 \cdot 10^{-11}$ mbar erreicht.

Die gesamte ASPIC-Kammer wird vor dem Experiment für einige Tage ausgeheizt (etwa fünf Tage mit einer maximalen Temperatur von $250 \text{ }^\circ\text{C}$), um die an den Innenwänden adsorbierten Verunreinigungen wie H_2O , N_2 und organische Substanzen zu desorbieren und nachfolgend abpumpen zu können. Die „Filamente“ der eingebauten Präparations- und Analysegeräte werden nach dem Ausheizen ausgegast. Die Kristalle werden sorgfältig gereinigt und für die PAC-Messungen präpariert.

Die Verbindung von ASPIC über ein UHV-Strahlrohr mit dem ISOLDE-Massenseparator gestattet einen direkten Transport der Sonden in die Kammer.

3.2. Das „Soft-Landing“ der Isotope auf Oberflächen

Sauberes Auftragen der radioaktiven Isotope auf die Probeoberfläche spielt eine wichtige Rolle, wobei sich das Vermeiden von Verschmutzung oft als technische Herausforderung erweist.

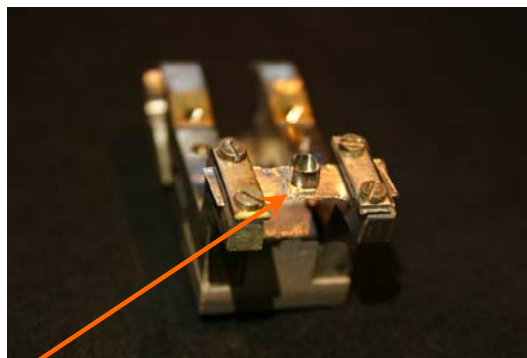


Abbildung 3.2.1: Fänger mit Molybdänfolie. Auf der Fängerfolie ist ein runder „Schornstein“ zu erkennen, der das Überdampfen der radioaktiven Isotope auf die Transportfolie und eine gleichmäßigere Verteilung verbessern soll.

Die in dieser Arbeit und in der ASPIC-Apparatur verwendete Soft-Landing-Methode, wurde von Haas und Hunger am On-Line-Massenseparator ISOLDE am CERN entwickelt [Hun89]. Die radioaktiven Mutterisotope werden für den Transport zur Kammer zuerst beschleunigt, dann nach der Masse separiert, schließlich auf einen Fänger durch elektrostatische Linsen

fokussiert und dort implantiert. Es zeigt sich, dass radioaktive Ionen fast ohne Verunreinigung mit der Methode des Soft-Landings auf Oberflächen aufgedampft werden können. Im Vergleich zu anderen Aufdampfmethoden ohne Massenseparator ist die Präparation für die Nutzer einfacher und erlaubt eine sehr saubere Präparation. Die radioaktiven Ionen werden direkt in eine Folie, d.h. in ein vorgereinigtes Ziel implantiert und in zwei Aufdampfschritten auf die Oberfläche eingesetzt.

Im Folgenden werden die einzelnen Schritte des Soft-Landings beschrieben.

Nach der Massentrennung werden die radioaktiven Sondenatome, die aus dem ISOLDE-UHV-Strahlrohr kommen, mit einer Energie von 60 keV in eine Molybdän-Fängerfolie (Abbildung 3.2.1) in der Vorkammer implantiert. Die radioaktiven Ionen haben somit eine Eindringtiefe von etwa 1 μm .

Für das Überdampfen der radioaktiven Sondenatome wurde der in der Abbildung 3.2.2 gezeigte Prozess verwendet. Der Fänger wird aus dem Strahlrohr genommen und auf eine Temperatur unterhalb des Desorptionspunktes der radioaktiven Sondenatome hochgeheizt. Dies ist der Prozess der sogenannten „Flash-Heizung“ und dient zur Säuberung des Fängers.

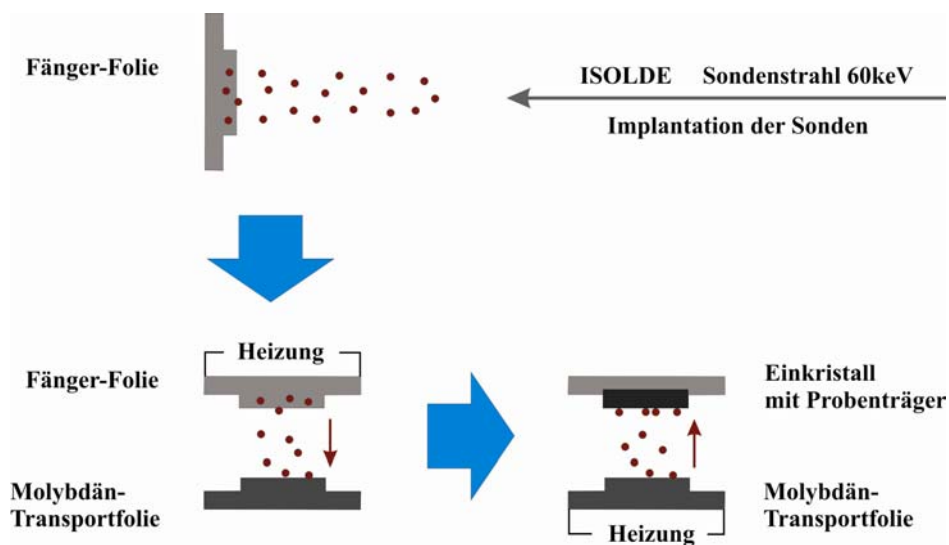


Abbildung 3.2.2: Schematische Darstellung des Soft-Landing-Prozesses zur Deposition von radioaktiven Sondenatomen auf dem Probenkristall.

In einem zweiten Schritt wird der Fänger kontaktfrei über die Molybdän-Transportfolie positioniert und in einer Temperaturstufe („Flash“) für einige Sekunden bis auf 2000 K und mehr geheizt. Infolgedessen diffundieren die radioaktiven Ionen aus dem Fänger und werden auf die Oberfläche der Transportfolie übertragen. Dann wird diese Transportfolie mit den radioaktiven Isotopen durch den Manipulator in die Hauptkammer bewegt.

Die Transportfolie wird sorgfältig über die Kristalloberfläche justiert und für ein bis maximal fünf Sekunden einem weiteren Heizprozess bei einer Temperatur von 800 K unterworfen,

wobei die Sonden schließlich von der Transportfolie auf den Probenkristall übertragen werden. Die Temperatur der Probenoberfläche wird dabei nur ganz geringfügig erhöht. Wegen des zweimaligen Heizprozesses werden nur etwa zehn Prozent der ursprünglich implantierten radioaktiven Sonden auf die Kristalloberfläche deponiert. Das führt zu einem Verhältnis von einem radioaktiven Sondenatom pro 10^5 Gastgeber-Atome. Infolge dieser niedrigen Konzentration von Sonden auf der Oberfläche bilden diese Atome isolierte Fremdatome. Die gegenseitige Wechselwirkung der Sondenatome kann vernachlässigt werden und die Messungen werden in einer sehr reinen Umgebung der Probenatome durchgeführt. Der gesamte Aufdampfprozess wird über einen Rechner gesteuert, um sicherzustellen, dass der Soft-Landing-Prozess reproduzierbar abläuft und somit systematische Fehler minimiert werden.

3.3 Verwendete Ni-Kristalle

Die zwei in den Experimenten verwendeten Ni-Kristalle haben eine kubisch flächenzentrierte Struktur (fcc), d.h. die Atome können in einer einzigen, dichtest gepackten Schicht so angeordnet werden, dass jedes Atom sechs nächste Nachbarn in der Ebene hat. Solch eine Schicht kann entweder die Grundfläche einer hcp-Struktur oder die (111)-Ebene der fcc-Struktur sein. Eine zweite gleichartige Schicht wird so auf die erste gepackt, dass jedes Atom drei Nachbaratome der Unterlage berührt. In der fcc-Struktur werden die Atome der dritten Schicht über den Löchern der ersten Schicht, die nicht von der zweiten Lage besetzt sind, angeordnet. Die fcc-Struktur ist nach dem Schema *ABCABCABC...* gepackt.

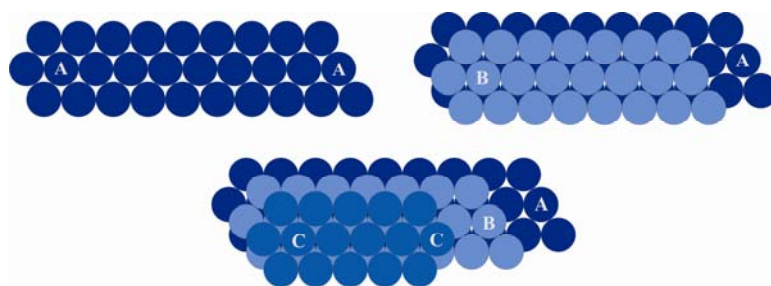


Abbildung 3.3.1: Dichtest-gepackte Schicht von Kugeln (Atomen) in der Stapelfolge *ABCABC*. In einer dichtesten Kugelpackung hat jede Kugel 12 nächste Nachbarn, sechs in der eigenen Schicht, sowie drei je darüber und darunter. Die Struktur ist kubisch flächenzentriert und die (111)-Ebene bildet die Oberfläche für diese Packung.

Die einfachsten Kristallstrukturen entstehen, wenn man sich die Punkte eines Translationsgitters mit Atomen belegt vorstellt. Aus dem kubisch-flächenzentrierten Gitter wird dann die kubisch-flächenzentrierte Struktur. In ihr ist jedes Atom von 12 Nachbarn

umgeben. Diese Zahl der nächsten Nachbarn in einer bestimmten Struktur wird auch als *Koordinationszahl* bezeichnet.

Die Untersuchung der Hyperfeinwechselwirkungen an verschiedenen Gitterplätzen des Ni-Kristalls erfordert den Gebrauch von zwei Ni-Kristallen mit verschiedenen Oberflächen.

Im Rahmen dieser Arbeit wurden Ni-Einkristall mit einer (001)- und einer (111)-Oberflächenorientierung benutzt. Die Anwendung eines (001)-orientierten Kristalls erlaubt es, mehrere Plätze zu messen, besonders den freien Terrassenplatz mit der Koordinationszahl $NN=4$ (Adatom) und den substitutionellen Terrassenplatz ($NN=8$). Mit dem vizinal geschnitten Ni(111)-Kristall ist es möglich z.B. den substitutionellen Terrassenplatz ($NN=9$), den substitutionellen Kantenplatz ($NN=7$) oder den freien inneren Eckplatz ($NN=5$) zu messen.

Die verschiedenen Oberflächen wurden durch Schnitte des fcc-Kristalls in der entsprechenden Richtung, der (111)-Ebene (Abbildung 3.3.2 a) bzw. der (001)-Ebene, erhalten. Abbildung 3.3.2 b zeigt die verschiedenen möglichen einfachen Oberflächenorientierungen einer fcc-Struktur.

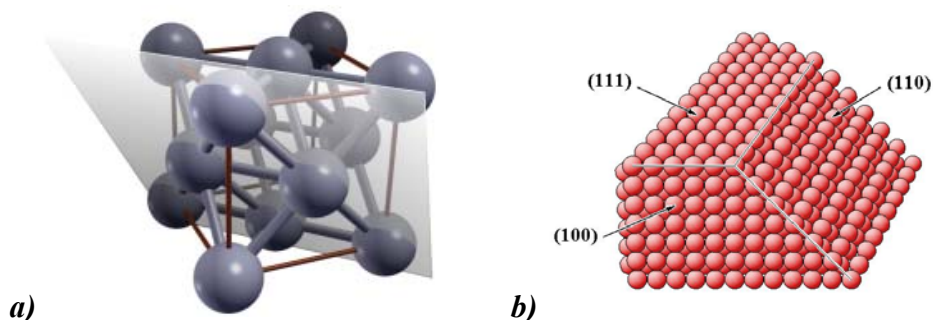


Abbildung 3.3.2: a) (111)-Ebene im fcc Gitter. Bei einem Kristallschnitt entlang der gezeigte (111)-Ebene erhalten wir eine (111)-Oberfläche [Kok03]. b) Verschiedene mögliche Ebene eines fcc-Kristalls [Her05].

Um eine gestufte (111)-Oberfläche zu erhalten, wurde ein (111)-Einkristall vizinal geschnitten (Schnittwinkel von 2.8° relativ zu $[\bar{1}11]$ Richtung). Die Schnittrichtung $[\bar{1}10]$ wurde gewählt, da die Grenzen der monoatomaren Stufen eine Zickzackform infolge der hexagonalen Oberflächenorientierung aufweisen. Dabei ist die Position $NN=4$ auf der Basis einer (111)-Oberfläche möglich (Abbildung 3.3.3).

Alle verwendeten Substrate sind Einkristalle, welche vom Hersteller nach der Züchtung gereinigt und in „Hutform“ geschliffen wurden. Die metallischen Kristalle sind $\sim 1-2$ mm dicke Scheiben, die von einem einkristallinen Stab mit entsprechender Orientierung und etwa 10-12 mm Durchmesser abgesägt werden. Die Kristalloberfläche wird mit Schleifpapier und

einem Gleitmittel aus Ethanol und Ammoniak mikroskopisch glattpoliert. Im letzten und feinsten Schleifprozess wird eine Samtscheibe und Al_2O_3 ($1\ \mu\text{m}$) als Poliermittel verwendet. Im Anschluss daran werden die Kristalle bei einem Vakuum von etwa 10^{-1} mbar in einer Wasserstoffatmosphäre einige Stunden ausgeheizt.

Die Kristalle werden auf einem Probenträger aus Molybdän (Mo) durch einen Edelstahlring und Edelstahlschrauben fest montiert. Für die PAC-Messungen, Probepräparation usw. wurde der Probehälter auf den Manipulator gelegt. Das erlaubt, die Proben in verschiedene Positionen in der ASPIC-Kammer zu bewegen.

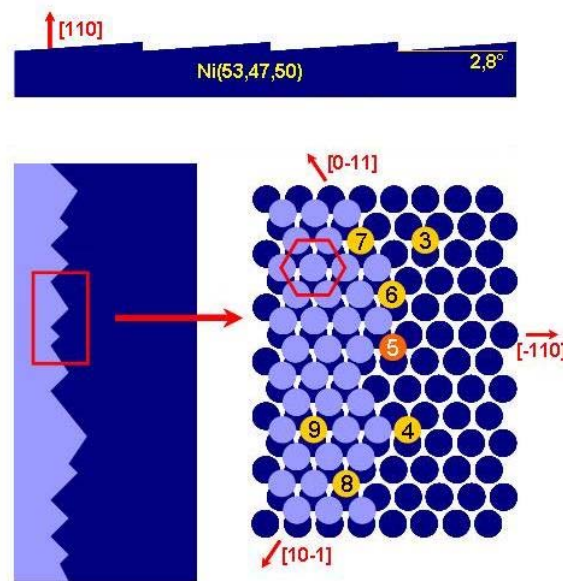


Abbildung 3.3.3: Schematische Darstellung der vizinal geschnittenen Ni(111)-Oberfläche mit zickzack-geformten Stufen (Schnittwinkel von $2,8^\circ$). Die vergrößerte Ansicht (rechts) zeigt Cd-Sondenatome an mehreren Positionen der gestuften Oberfläche. Mögliche Positionen werden durch ihre entsprechende Koordinationszahl angezeigt (Adatom ($\text{NN}=3$), der freie äußere ($\text{NN}=4$) und innere ($\text{NN}=5$ oder $\text{NN}=6$) Eckplatz, der substitutionelle Kanten- ($\text{NN}=7$) und Eckplatz ($\text{NN}=8$) und der substitutionelle Terrassenplatz ($\text{NN}=9$)).

3.4. Präparation von Adsorbatplätzen an einer Oberfläche.

Die Oberfläche eines Kristalls bietet für einzelne isolierte radioaktive Gastatome eine Auswahl von verschiedenen Oberflächenstellen, zum Beispiel den freien Terrassenplatz (Adatom), den freien oder substitutionellen Kantenplatz oder den substitutionellen Eckenplatz an.

Jede Position an der Kristalloberfläche kann durch die Zahl der nächsten Nachbarn (NN) der Trägeratome charakterisiert werden. Diese Zahl wird Koordinationszahl genannt. Abbildung 3.4.1 zeigt schematisch mögliche Gitterplätze für die Gastatome auf einer $\text{sc}(001)$ -Oberfläche.

Durch eine geeignete Auswahl der Parameter zur Probenpräparation kann jede dieser Stellen durch die radioaktiven Sondenatome selektiv besetzt werden. Die Situation auf einer Ni(111)-Oberfläche sieht ähnlich aus (Abbildung 3.3.3).

Nach der Präparation des Einkristalls bleibt seine Oberfläche rau, man kann Inseln, Stufen und Versetzungen feststellen (in der Abbildung 3.4.1 gezeigt). Eine Stufe von einatomarer Höhe ist deutlich zu erkennen. Diese Rauheiten machen es möglich, dass beim Aufdampfen der radioaktiven Sonden verschiedene Plätze präpariert werden können und in der anschließenden TDPAC-Messung aufgrund unterschiedlicher lokaler Umgebung der Isotope verschiedene EFGs und magnetische Hyperfeinfelder gemessen werden.

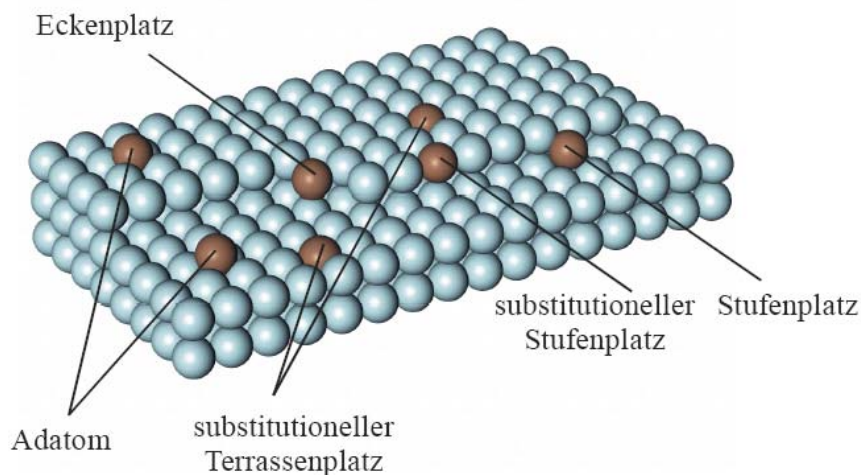


Abbildung 3.4.1: Idealisierte sc-Struktur mit (001)-Orientierung und einer Stufe von einatomarer Höhe [Bert03]. Einige mögliche Stellen für Fremdatome z.B. Adatom ($NN=4$) werden gezeigt. Durch geeignete Wahl der Präparationsbedingungen können sie selektiv bevölkert werden.

Bei Oberflächenuntersuchungen mit TDPAC-Sonden präparierten Hunger [Hun89], Voigt [Voi90], Finck [Fin93], Granzer [Gra96], Potzger [Pot01] und Manzhur [Man05] verschiedene Adsorptionsplätze und untersuchten deren Hyperfeinwechselwirkungen.

Für Cd-Sondenatome können diese Plätze gezielt durch die Wahl der Ausheiltemperatur und der Ausheilzeit präpariert werden. Einen ausführlichen Vergleich zwischen den in den Arbeiten verwendeten Verfahren hat Y. Manzhur [Man05] gezogen.

Im Folgenden werden die verschiedenen Adsorptionsplätze der Sonden auf einer Oberfläche mit Hilfe der Anzahl nächster Nachbarn (Koordinationszahl NN) beschrieben. Hierbei soll erwähnt werden, dass unterschiedliche Autoren, die in dieser Arbeit zitiert werden, unterschiedliche Abkürzungen zur Beschreibung der Adsorptionsplätze benutzten:

Der Muldenplatz (auch freier Terrassenplatz oder Adatomplatz) mit $NN=3, 4$

Er besitzt auf der (111)-Oberfläche drei nächste Nachbarn, auf der (001)-Oberfläche vier nächste Nachbarn.



Abbildung 3.4.2: Der Terrassenplatz

Der freie äußere Eckenplatz mit $NN = 4$

Auf der (111)-Oberfläche besitzt er vier nächste Nachbarn.

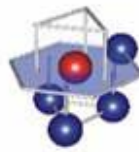


Abbildung 3.4.3: Der freie äußere Eckenplatz

Der freie innere Eckenplatz (auch Stufenplatz) mit $NN = 5$

Er besitzt auf (111)- und (001)-Oberflächen fünf nächste Nachbarn. Auf der (111)-Oberfläche kann man zwischen dem fcc ¹⁵- und dem hcp ¹⁶-Platz unterscheiden.



Abbildung 3.4.4: Der freie innere Eckenplatz

Der freie innere Eckenplatz mit $NN = 6$

Er besitzt sowohl auf (111)-Oberflächen als auch auf (001)-Oberflächen sechs nächste Nachbarn.



Abbildung 3.4.5: Der freie innere Eckenplatz

Der substitutionelle Kantenplatz mit $NN = 7$

Er hat auf (001)- und (111)-Oberflächen sieben nächste Nachbarn. Auf (111)-Oberflächen treten sie wieder in hcp - oder fcc -Form auf.

¹⁵ face centered cubic; kubisch-flächenzentriertes Gitter

¹⁶ hexagonal close-packed

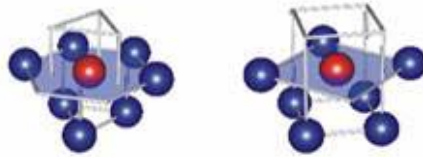


Abbildung 3.4.6: Der substitutionelle Kantenplatz

Der substitutionelle Eckenplatz mit $NN = 8$

Er besitzt auf der (111)-Oberfläche acht nächste Nachbarn.



Abbildung 3.4.7: Der substitutionelle Eckenplatz

Der substitutionelle Terrassenplatz mit $NN = 8, 9$

Er besitzt auf (111)-Oberflächen neun nächste Nachbarn und auf (001)-Oberflächen acht nächste Nachbarn.

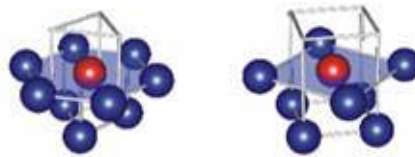


Abbildung 3.4.8: Der substitutionelle Terrassenplatz

Im experimentellen Teil dieser Arbeit werden noch einmal die verschiedenen Adsorptionsplätze der Cd-Sonden auf einer Ni-Oberfläche dargestellt. Zum Vergleichen mit den oben zitierten Arbeiten werden die Messungen zur Bestimmung des Vorzeichens der (bisher unbekannt) magnetischen Hyperfeinfelder an verschiedenen Plätzen auf der Oberfläche hinzugefügt.

3.5. Das externe Magnetfeld

Um die Wirkung eines äußeren Magnetfeldes auf das untersuchte Material Nickel besser zu verstehen, ist es zunächst wichtig, die magnetischen Abläufe in einem solchen Ferromagnetikum mit und ohne äußerem Feld zu verstehen. Ferromagnetische Materialien weisen kleine Gebiete auf, in denen die magnetischen Momente bereits ausgerichtet sind. Im unmagnetisierten Zustand zeigen die magnetischen Momente benachbarter magnetischer Domänen (Weißschen Bezirke) in unterschiedliche Richtung, so dass sie sich im Mittel gegenseitig aufheben. Die Weißschen Bezirke sind durch sogenannte Bloch-Wände von einander getrennt.

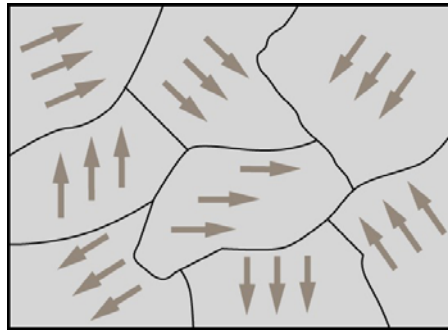


Abbildung 3.5.1: Schematische Darstellung magnetischer Domänen (Weißschen Bezirke) in einem Ferromagneten.

Im magnetisierten Zustand sind diese Bereiche orientiert und erzeugen ein Magnetfeld zusätzlich zum äußeren Feld. Die Ausrichtung kann zum Teil bestehen bleiben, wenn das äußere Magnetfeld abgeschaltet wird (Remanenz). Es entsteht ein Permanentmagnet.

Bei mikroskopischer Betrachtung und bei Temperaturen weit unterhalb des Curie-Punktes findet man die magnetischen Momente der Elektronen in einem Ferromagneten im Wesentlichen ausgerichtet.

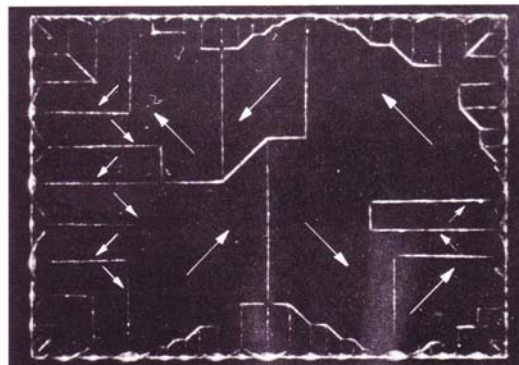


Abbildung 3.5.2: Ferromagnetische Domänen auf der Oberfläche eines einkristallinen Nickelplättchens. Die Magnetisierungsrichtung innerhalb einer Domäne wird bestimmt indem man wie in Abbildung 3.5.3 das Wachsen oder Schrumpfen der Domäne in einem äußeren Magnetfeld beobachtet. Abbildung der Domänengrenzen mittels Bittertechnik (nach R.W.DeBlois aus [Kit68]).

Die Zunahme des magnetischen Moments der Probe unter dem Einfluss eines äußeren Magnetfeldes erfolgt über zwei voneinander unabhängige Prozesse:

1. In schwachen äußeren Feldern wächst das Volumen der Domänen (Abbildung 3.5.3), die in Bezug auf das Feld günstig orientiert liegen, auf Kosten der ungünstig orientierten Domänen.
2. In äußeren Feldern dreht sich die Magnetisierung in die Richtung des Feldes.

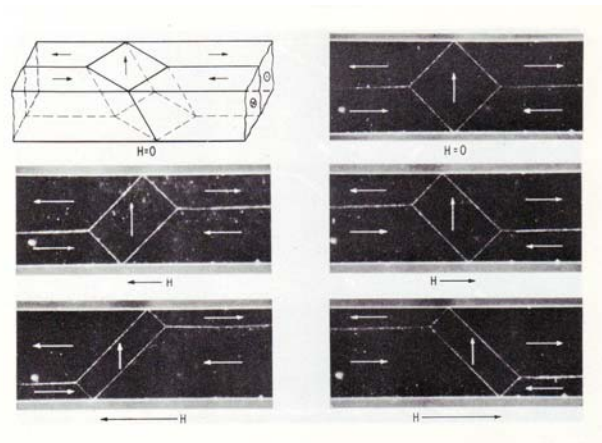


Abbildung 3.5.3: Kontinuierliche und reversible Verschiebung einer Bloch-Wand in einem Eisenkristall. Die Bezirke, die in Richtung des angelegten Magnetfeldes orientiert sind, wachsen auf Kosten der anderen. Das Feld liegt in der (001)-Richtung, die Oberfläche ist eine (100)-Ebene, die maximale Feldstärke beträgt ungefähr 0.1 T (nach R.W.DeBlois aus [Kit68]).

Zur Bestimmung des Vorzeichens des lokal am Sondenatom wirkenden magnetischen Hyperfeinfeldes B_{hf} mithilfe der PAC wurde ein relativ niedriges äußeres magnetisches Feld angelegt, das ausreicht, die Sättigung des Ni-Kristalls (für Ni - abhängig von Form und Ausrichtung - maximal 0.61 T) zu erreichen.

Nach dem Soft-Landing werden die magnetischen Domänen mit dem äußeren Feld ausgerichtet. Für dieses Experiment wurde ein System zur Halterung des Kristalls mit fest eingebauten Permanentmagneten, konstruiert (Abbildung 3.5.4).

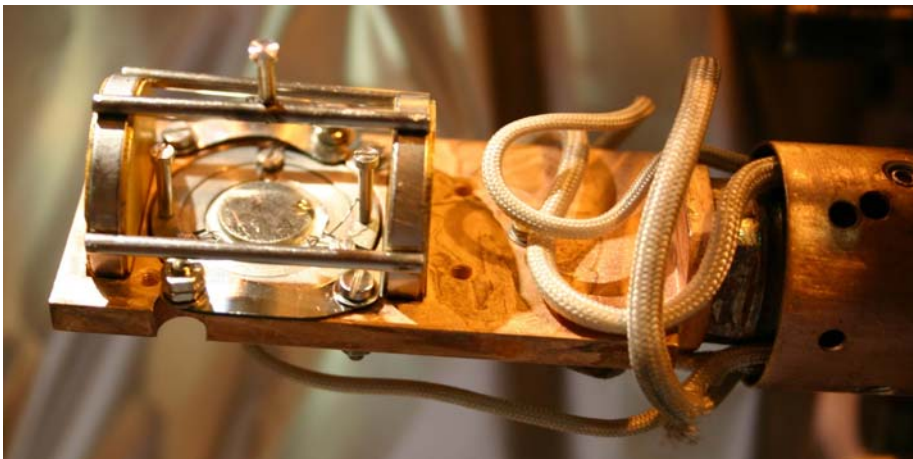


Abbildung 3.5.4: Der Probenkopf des Hauptmanipulators mit dem Probenträger, den Thermoelementen zur Temperaturmessung und dem Permanentmagneten zur Erzeugung des externen magnetischen Felds. Der Probenhalter mit dem jeweiligen Kristall wird auf den Manipulator aufgelegt und der Magnet entsprechend der Untersuchungsgeometrie gepolt.

Das System besteht aus zwei SmCo_5 -Permanentmagneten in Scheibenform mit einem Radius von jeweils 10 mm und einer Dicke von 4 mm. Beide Magnete wurden durch Elektrolyse mit

einer Goldschicht von etwa 8 μm bedeckt, um die große und grobe Sintermaterial-Oberfläche des spröden SmCo_5 -Magnetens zu bedecken. Dadurch wurde die Absorption von Gasmolekülen, die sich innerhalb der UHV-Kammer befinden, und das Diffundieren von Restgasen aus dem Magneten verhindert.

Die Scheiben werden in einer Entfernung $2x = 27 \text{ mm}$ mit ihren entgegengesetzten Polen vis-à-vis montiert (Abbildung 3.5.5).

Die magnetische Induktion des Systems wird damit zu:

$$B(x) = B_r \left[\frac{L+x}{\sqrt{R^2 + (L+x)^2}} - \frac{x}{\sqrt{R^2 + x^2}} \right] [\text{ManPh}], \quad (3.1)$$

wobei $B_r = 950 \text{ mT}$ die magnetische Induktion auf der Oberfläche der SmCo -Magnete ist. L , x und R sind ihre Abmessungen, welche in der Abbildung 2.5.5 dargestellt sind.

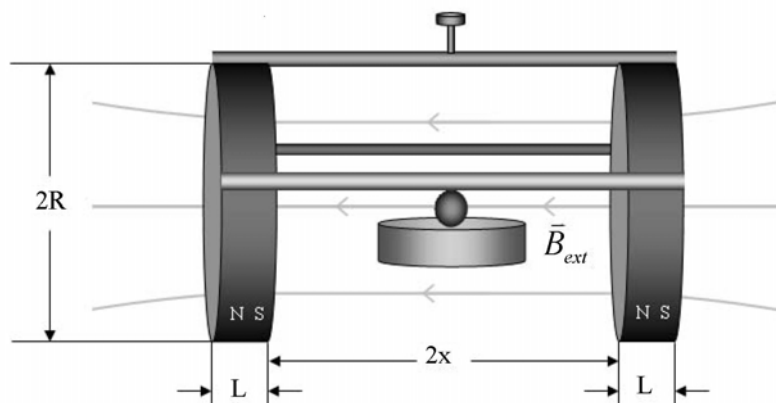


Abbildung 3.5.5: Das externe Magnetsystem. Die entgegengesetzten Pole der zwei SmCo_5 -Permanentmagnete stehen einander in einer Entfernung $2x = 27 \text{ mm}$ gegenüber. $L = 4 \text{ mm}$, $R = 10 \text{ mm}$.

Laut Gleichung (3.1) ist die magnetische Induktion des Systems am Ort der Probe ($x = 13.5 \text{ mm}$) $B_{ext} = B_x = 61.5 \text{ mT}$.

Die Anwendung einer Hall-Sonde bestätigt den berechneten Feldwert für B_{ext} für die in Abbildung 3.5.5 dargestellte Geometrie ($x = 13.5 \text{ mm}$, ohne Ni-Kristall). Nachdem ein Ni-Einkristall zwischen den zwei magnetischen Scheiben gelegt wurde, steigt die magnetische Induktion auf $B'_{ext} = 400 \text{ mT}$ [ManPh].

Da die Sättigungsmagnetisierung von Nickel bei 610 mT liegt, lässt sich vermuten, dass ein bedeutender Teil der Domänen im äußeren Feld ausgerichtet ist.