

## Teil A: Grundlagen

### I Die Idee dieser Arbeit

Im letzten Jahrzehnt haben sich die Bemühungen der Experimentalphysiker um die Erforschung ultradünner magnetischer Schichten und magnetischer Oberflächen erheblich verstärkt. Inzwischen werden neue Meßtechniken entwickelt, wie z.B. die spinpolarisierte Rastertunnelmikroskopie, aber es werden auch traditionelle spektroskopische Methoden auf die neuen magnetischen Systeme angewendet. Dies trifft insbesondere auf Untersuchungen mittels Neutronen und Synchrotronstrahlung sowie radioaktiver nuklearer Sonden zu.

In dieser Arbeit wurden magnetische Eigenschaften der Oberfläche eines *Ni(111)*-Einkristalls sowie ultradünner *Pd*-Schichten auf der *Ni(111)*-Oberfläche im *UHV*<sup>1</sup> untersucht. *Ni* ist ein *3d*-Element und verfügt als freies Atom über eine unvollständig gefüllte *d*-Schale (Zeichnung 1). *Ni* wird aus diesem Grund als Übergangsmetall bezeichnet. *Ni* ist ferromagnetisch. *Pd* zählt wie *Ni* zu den Übergangsmetallen, ist aber paramagnetisch. *Pd* wird oft als fast ferromagnetisch bezeichnet. Die magnetischen Eigenschaften der *Ni/Pd*-Grenzfläche und insbesondere die magnetische Polarisierung ultradünner *Pd*-Schichten in Kontakt mit *Ni* sind daher seit langem Gegenstand physikalischer Forschung.

2.49 Å 28 <b>Ni</b> 3d <sup>8</sup> 4s <sup>2</sup>	2.56 Å 29 <b>Cu</b> 3d <sup>10</sup> 4s	2.66 Å 30 <b>Zn</b> 3d <sup>10</sup> 4s <sup>2</sup>	2.44 Å 31 <b>Ga</b> 4s <sup>2</sup> 4p
2.75 Å 46 <b>Pd</b> 4d <sup>10</sup>	2.89 Å 47 <b>Ag</b> 4d <sup>10</sup> 5s	2.98 Å 48 <b>Cd</b> 4d <sup>10</sup> 5s <sup>2</sup>	3.25 Å 49 <b>In</b> 5s <sup>2</sup> 5p

*Zeichnung 1: Ausschnitt aus dem Periodensystem der Elemente. Neben dem Namen des Elements sind die Ordnungszahl (rechts oben), die Elektronenkonfiguration im Grundzustand (unten) und die Bindungslänge (nächster-Nachbar-Abstand) im Kristall (links oben) angegeben. Im Ni-Volumen besitzen die nächsten Nachbaratome einen Abstand (Bindungslänge) von 2.49 Å, im Pd-Volumen von 2.75 Å, dies bedeutet einen Gitterparameterunterschied (Misfit) zwischen Ni und Pd von 9.5 %. Aus [PSE01].*

Zur Untersuchung der beschriebenen magnetischen Systeme wurde eine nukleare Sondenmethode angewendet, die *PAC*<sup>2</sup>-Spektroskopie. Bei der *PAC*-Spektroskopie wird die Wechselwirkung der radioaktiven Kerne einzelner Atome (Sonden) mit ihrer lokalen magnetischen Umgebung betrachtet. Es wird der Elektrische Feldgradient (*EF**G*) und das Magnetische Hyperfeinfeld (*MHF*) am Ort des Sondenkerns gemessen. Hierzu beobachtet der Experimentator die Winkelkorrelation der beim radioaktiven Zerfall der Sondenkerne emittierten  $\gamma$ -Strahlung. Die Untersuchung magnetischer Systeme mittels radioaktiver Sonden betreibt man bereits seit den 1960er Jahren. Im relativ jungen Gebiet der Oberflächenphysik wendet man sie erst seit 1990 an. Einen Überblick über diese und weitere nukleare Sondenmethoden, wie die *Mößbauer*-Spektroskopie, die *PAC*, die *NMR*<sup>3</sup> und die *NO*<sup>4</sup>, liefern G. Schatz und A. Weidinger [ScW97]. Bei der *PAC* ist eine wesentlich geringere Anzahl von Sondenatomen für die Messung nötig, als für die übrigen

1 Ultra High Vacuum

2 Perturbed Angular Correlation

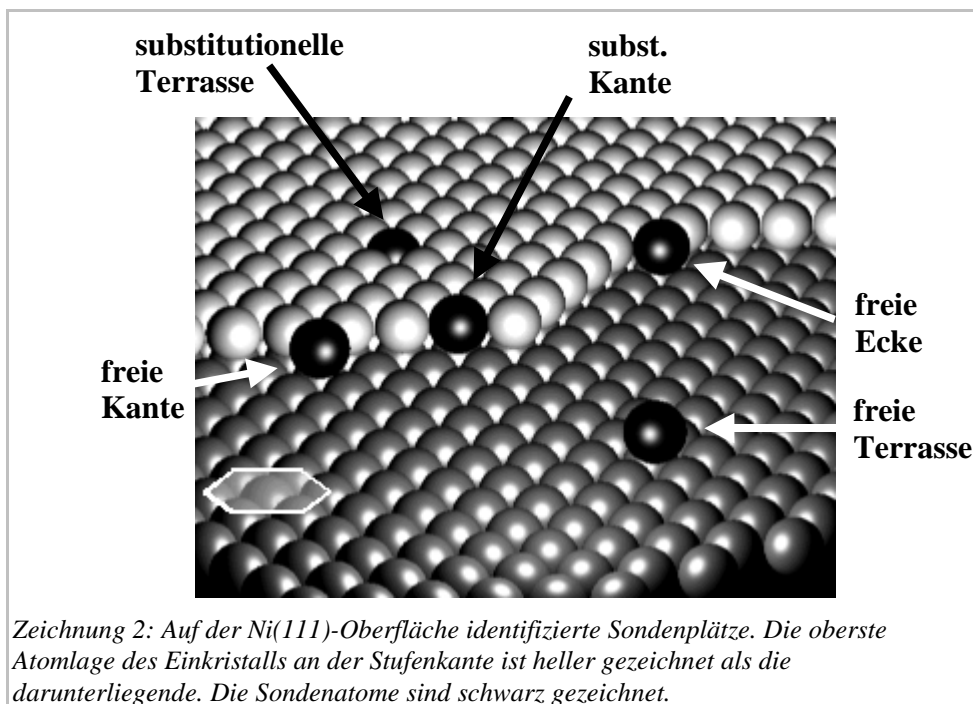
3 Nuclear Magnetic Resonance

4 Nuclear Orientation

nuklearen Methoden, weswegen sich die **PAC**-Spektroskopie für atomar auflösende Oberflächenuntersuchungen besonders gut eignet. Als nukleare Sonden dienten in dieser Arbeit  $^{111}\text{In}/^{111}\text{Cd}$  und  $^{111\text{m}}\text{Cd}/^{111}\text{Cd}$ .  $\text{Cd}$  und  $\text{In}$  sind  $sp$ -Elemente, und besitzen als solche eine unvollständig gefüllte  $s$ - bzw.  $p$ -Schale (Zeichnung 1). Sie weisen kein atomares magnetisches  $d$ -Moment auf und eignen sich daher zur verhältnismäßig neutralen Erfassung magnetischer Eigenschaften ihrer Umgebung in Form des transferierten magnetischen Hyperfeinfelds.  $\text{Cd}$  und  $\text{In}$  haben aufgrund ihrer Bindungslängen einen Misfit gegenüber  $\text{Ni}$  von 16% bzw. 23%.

Die Abhängigkeit des magnetischen Hyperfeinfelds vom Adsorptionsplatz der Sonde auf der  $\text{Ni}(111)$ -Oberfläche und vom  $\text{Pd}$ - und  $\text{Ni}$ -Anteil in der nächsten Nachbarumgebung des einzelnen Sondenatoms auf  $\text{Pd}$ -dekorierten  $\text{Ni}(111)$ -Oberflächen stellen die beiden Hauptuntersuchungspunkte dieser Arbeit dar. Im einzelnen wurden folgende Schwerpunkte bearbeitet:

1. Die Sonde  $^{111\text{m}}\text{Cd}/^{111}\text{Cd}$  wurde auf eine vizzinal geschnittene  $\text{Ni}$ -Einkristalloberfläche<sup>5</sup> (Stufenbreite von 20 Atomen) aufgebracht. Kontrollierte Diffusion ließ die Sondenkerne temperaturabhängig freie Stufenplätze und freie Eckenplätze einnehmen (Zeichnung 2). Die Sonde  $^{111}\text{In}/^{111}\text{Cd}$  wurde auf eine  $\text{Ni}(111)$ -Oberfläche aufgebracht. Durch temperaturgetriebene Diffusion wurden freie Terrassenplätze, substitutionelle Terrassenplätze und substitutionelle Kantenplätze präpariert. Es wurde untersucht, wie das transferierte magnetische Hyperfeinfeld an den Kernen der einzelnen  $\text{Cd}$ -Sondenatome, mit der **Zahl und Symmetrie** ihrer nächsten  $\text{Ni}$ -Nachbaratome (**Koordinationszahl  $NN$** ) zusammenhängt.
- **Behauptung I:** Das magnetische Hyperfeinfeld am  $\text{Cd}$ -Kern ist eine monoton fallende Funktion der Koordinationszahl.



<sup>5</sup> Dieser Kristall wird im weiteren als  $\text{Ni}_i(111)$  bezeichnet.

2. Die Kanten des  $Ni(111)$ -Kristalls wurden mit  $0.4$  Monolagen  $Pd$  dekoriert. Nach Adsorption von  $^{111m}Cd/^{111}Cd$  konnten temperaturabhängig freie und substitutionelle Kantenplätze präpariert werden.

Ein  $Ni(111)$ -Kristall wurde mit  $Pd$  dekoriert. Das magnetische Hyperfeinfeld an den  $^{111}In/^{111}Cd$ -Sonden, welche sich auf den substitutionellen Kanten- und Terrassenplätzen der ersten und zweiten Monolage befanden, wurde gemessen.

Frühere Messungen des magnetischen Moments an ultradünnen  $Pd$ -Schichten auf  $Ni$  ergaben, daß  $Pd$  durch die  $Ni$ -Unterlage ferromagnetisch polarisiert wird. In dieser Arbeit wurde das transferierte magnetische Hyperfeinfeld am  $Cd$ -Kern in einer durch die  $Ni(111)$ -Unterlage magnetisch polarisierten  $Pd$ -Schicht untersucht.

- ***Behauptung II: Der Kontakt von ultradünnen Pd-Schichten mit Ni-Einkristalloberflächen führt zu einer magnetischen Polarisierung des Pd und einer Veränderung der magnetischen Eigenschaften der Ni-Grenzfläche.***