

Zusammenfassung und Ausblick

Auf einer $Ni(111)$ -Einkristalloberfläche wurden radioaktive $^{111m}Cd/^{111}Cd$ bzw. $^{111}In/^{111}Cd$ -Sondenatome in einer Konzentration von etwa $1:10000$ Oberflächenatomen aufgebracht. Kontrolliertes Anlassen des Kristalls ließ die Sonden temperaturabhängig freie und substitutionelle Terrassen-, Stufen- und Eckenplätze einnehmen. Auf jedem dieser Plätze besitzt das Sondenatom eine bestimmte Anzahl nächster Ni -Nachbarn (Koordinationszahl). Die elektrische Quadrupolwechselwirkung und die magnetische Dipolwechselwirkung am Ort des Sondenkerns wurde mit Hilfe der **PAC**-Methode gemessen.

Der Elektrische Feldgradient (**EFG**) ist im untersuchten Bereich zwischen 3 und 9 nächsten Ni -Nachbaratomen nahezu linear von der Koordinationszahl abhängig. Er fällt mit abnehmender Koordinationszahl, wobei die Übergangsfrequenzen der elektrischen Quadrupolwechselwirkung die magnetischen Wechselwirkungsfrequenzen in den **PAC**-Spektren der substitutionellen Adsorptionsplätze sowie der freien Ecken- und Kantenplätze dominieren. Die Abhängigkeit des **EFG** von der Koordinationszahl entspricht in etwa der auf $Pd(111)$ -Einkristalloberflächen, welche von E. Hunger [Hun89] et al. untersucht wurde. Auch das Diffusionsverhalten der In - bzw. Cd -Atome auf Ni entspricht dem auf Pd .

Das magnetische Hyperfeinfeld (**MHF**) am Cd -Kern auf der Ni -Oberfläche ist ebenfalls vom Adsorptionsplatz und damit von der Koordinationszahl abhängig. Diese Abhängigkeit ist monoton, aber nicht linear. Es zeigt sich, daß das **MHF** mit fallender Koordinationszahl steigt und einen Vorzeichenwechsel durchläuft. Dieser Vorzeichenwechsel stellt eine durch theoretische Rechnungen von Ph. Mavropoulos et al. [Mav98] motivierte Arbeitshypothese dar, da nur der Absolutbetrag des **MHF** gemessen wurde. In der folgenden Übersicht werden auf $Ni(111)$ gemessene **MHF** und **EFG** am Cd zusammengefaßt:

- **Ni(111)**

<i>Adsorptionsplatz</i>	<i>Koordinationszahl</i>	$ V_{zz} $ [10^{17} V/cm ²]	η	$ B_{hf} $ [T]	Anlaßtemperatur [K]	Meßtemperatur [K]
subst. Terrassenplatz	9	12.3 (3)	0	6.6 (2)	630	340
subst. Kantenplatz	7	7.3 (2)	0.72 (6)	4.1 (5)	380	300
freier Eckenplatz	6	6.1 (2)	0.30 (5)	0.8 (3)	250	230
freier Kantenplatz	5	6.7 (2)	0.26(8)	3.9 (4)	250	230
freier Terrassenplatz	3	1.0 (1)	0	16.0 (3)	10	30

Die $Ni(111)$ -Oberfläche wurde mit ultradünnen Pd -Schichten dekoriert. Mittels **LEED**-Messungen wurde gefunden, daß eine Monolage Pd in einer $c(13 \times 13)$ -Überstruktur auf $Ni(111)$ -aufwächst. Diese Überstruktur entspricht einer quasi inkommensurablen (111)-Orientierung des Pd in seiner eigenen Gitterkonstante, nachweisbar bereits ab einer Bedeckung von 0.4 Monolagen. Zu höheren Bedeckungen hin wächst Pd im Stranski-Krastanov Modus.

Die elektrische Quadrupolwechselwirkung am Cd -Kern in Kontakt mit einer so präparierten Oberfläche entspricht der auf $Pd(111)$. Das Diffusionsverhalten unterscheidet sich jedoch aufgrund der höheren Beweglichkeit der In - bzw. Cd - und der Pd - Atome auf der Ni -Unterlage, insbesondere werden die Cd -Sondenatome beim Bedeckungsversuch mit weiteren Pd -Schichten bei Probertemperaturen von über $200K$ von der Ni/Pd -Grenzfläche in Richtung des Pd abgestoßen.

Die Zuordnung der Sondenplätze zu einer bestimmten Koordinationszahl, wie sie hier getroffen wurde, ist nicht vollständig bewiesen. Sie beruht auf der Annahme, daß es für das In - bzw. Cd -Atom energetisch am günstigsten ist, sich in einem Selbstorganisationsprozeß auf dem jeweils höchstkoordinierten Muldenplatz niederzulassen.

Diese Annahme wird durch die gemessenen *EFG* untermauert. Es gelang, ein in sich konsistentes Bild von der Polarisation der *Pd*-Schicht durch die *Ni*-Unterlage zu entwerfen.

Cd zeigt bei gleichzeitigem Kontakt zu *Ni*- und *Pd*-Nachbarn gegenüber unbedecktem *Ni* veränderte magnetische Hyperfeinfelder auf den einzelnen Adsorptionsplätzen. Diese Felder lassen sich dadurch erklären, daß *Pd* lagenweise magnetisch polarisiert wird, wobei die *Pd*-Nachbarn anteilig einen geringeren Beitrag (Faktor 0.4 in der Grenzlage zum *Ni*) und die *Ni*-Nachbarn anteilig einen höheren Beitrag (Faktor 1.3) zum *MHF* liefern als die Atome einer unbedeckten *Ni*-Oberfläche.

Dieses Modell ist sehr einfach und beruht im wesentlichen auf der Annahme, daß das transferierte *MHF* am *Cd* bei gleicher Koordinationszahl und Symmetrie mit dem magnetischen Moment skaliert. Ein solcher Zusammenhang ist bisher theoretisch noch nicht untersucht worden.

In der folgenden Übersicht werden die für die *Pd/Ni(111)*-Grenzfläche gemessenen *MHF* und *EFG* am *Cd* zusammengefaßt.

- **c(13x13)Pd/Ni(111)**

<i>Adsorptionsplatz</i>	<i>Koordinationszahl</i>	$ V_{zz} [10^{17} \text{ V/cm}^2]$	η	$ B_{\text{hf}} [T]$	<i>Anlaßtemperatur [K]</i>	<i>Meßtemperatur [K]</i>
subst. Terrassenplatz	9	11.3 (2)	0	4.5 (3)	320	300
subst. Eckenplatz	8	9.4 (3)	0.6 (1)	2.2 (2)	250	200
subst. Kantenplatz	7	8.5 (2)	0.85 (8)	1.6 (2)	200-370	200
freier Kantenplatz	5	7.4 (3)	0.26 (8)	3.6 (2)	200	170

Nach vielfacher Forschung über *Ni/Pd*-Grenzflächen konnten in dieser Arbeit erstmals Aspekte der magnetischen Verhältnisse direkt an der Grenzfläche gewonnen werden. Allerdings ist die Frage, ob und in wieweit sich die magnetischen Eigenschaften des *Ni* an der Grenzfläche verändern, nicht vollständig geklärt. Hier sind weitere Untersuchungen mit anderen Methoden wünschenswert. In struktureller Hinsicht bleibt die Frage, gerade nach dem hier vermuteten Selbstorganisationsprozeß im Oberflächensystem *Cd/Pd/Ni(001)* oder *Ni(111)* offen.

Es ist gelungen, auf dem *Ni(111)*-Einkristall und an der *Ni/Pd*-Grenzfläche Ergebnisse zu erzielen, die als Grundlage magnetischer Rauigkeitsmessungen auf atomarer Skala angesehen werden können. Inzwischen werden neue experimentelle Methoden, wie die spinpolarisierte Tunnelmikroskopie entwickelt, um magnetische Oberflächen auf atomarer Skala zu untersuchen. Die *PAC*-Spektroskopie stellt eine weit entwickelte, komplementäre Methode zu diesem neuen Gebiet der Oberflächenphysik dar, wobei sich neben *Cd*, *Se* und *In* weitere, bisher in der Oberflächenphysik nicht verwendete *PAC*-Sonden, wie z.B. *Gd*, anbieten.

In den letzten Jahren weiten sich die Untersuchungen von ultradünnen magnetischen Schichtsystemen aus. Insbesondere Schichtsysteme unter Beteiligung Seltener Erden sind Gegenstand aktueller Forschung. Durch gezieltes Einsetzen radioaktiver Sonden können mit Hilfe der *PAC*-Methode monolagenaufgelöst Informationen über magnetische Eigenschaften der Schicht gewonnen werden.