

9. ZUSAMMENFASSUNG

9.1. Das Yttrium–Wasserstoff System

Seit Grahams im Jahre 1866 die Löslichkeit von Wasserstoff in Palladium entdeckte sind Metall–Wasserstoff Systeme Gegenstand der Forschung. Neben Palladium gibt es viele Metalle welche die Eigenschaft besitzen Wasserstoff zu absorbieren. In dem Wirtsmetall ist das H_2 Molekül dissoziiert und die Wasserstoffatome nehmen Zwischengitterplätze ein. Der Wasserstoff ist dabei mehr als eine Verunreinigung. Er vermag die mechanischen, elektronischen, magnetischen und optischen Eigenschaften drastisch zu verändern. Die Anwesenheit von Wasserstoff beeinflusst weiterhin die Kristallstruktur des Systems, was oft zu komplexen Phasendiagrammen führt. Bedingt durch die hohe Diffusionsgeschwindigkeit des leichten Wasserstoffatoms, finden strukturelle Phasenumwandlungen oft bei Temperaturen statt, die weit niedriger sind als in gewöhnlichen metallischen Verbindungen.

In der Vergangenheit standen Metallhydridspeicher im Mittelpunkt der Forschung. Insbesondere im Bereich der alternativen Energien wurden hierbei Fortschritte erzielt. Technologische Entwicklungen im Bereich der Dünnschichttechnik sowie im Bereich der Ultrahochvakuumtechnik verstärkten das Interesse an dünnen Metall–Wasserstoffschichten. Dabei wurden außergewöhnliche und neue strukturelle und funktionelle Eigenschaften entdeckt. Herausragende Beispiele sind die Steuerung der magnetischen Kopplung in Fe/Nb und Fe/V Übergittern und die extreme elastische Dehnung in Mo/V Übergittern. Wasserstoff kann darüber hinaus auch als Sonde verwandt werden, um mechanische Eigenschaften von dünnen Metallschichten zu studieren. Anhand der wasserstoffbedingten Gitterdehnung in dünnen Nb Filmen konnte so z. B. die außerordentliche Haftung von Nb auf Saphir nachgewiesen und untersucht werden.

Unter den verschiedenen Wasserstoff–Metall Systemen zeichnet sich das System Wasserstoff–Yttrium (H–Y) durch die höchste Löslichkeitsenthalpie aus. Das heißt, Wasserstoff zieht Yttrium allen anderen Metallen als Wirtsmetall vor. Zusammen mit seinen chemischen Verwandten,

den schweren Seltenen Erden, hält Yttrium auch den Rekord bezüglich der größtmöglichen Wasserstoffkonzentration unter den reinen Metallen. In Sättigung beträgt das maximale Wasserstoff–Yttrium Verhältnis 3:1. Abhängig von der Wasserstoffkonzentration besitzt das H–Y System drei strukturelle Phasen. Die Wasserstoffarme α -Phase ist bis zu einer Konzentration von 20 Atomprozent Wasserstoff stabil. In dieser Phase besetzen die Wasserstoffatome Zwischengitterplätze mit tetragonaler Symmetrie im Gitter des in hcp Struktur kristallisierenden Yttriums. Erhöht man die Wasserstoffkonzentration über die kritische Konzentration hinaus, so bildet sich Ausscheidungen der β -Phase YH_2 . YH_2 kristallisiert in der kubischen CaF_2 -Struktur. Dabei bilden die Y Atome ein kubisch flächenzentriertes Gitter, die Wasserstoffatome nehmen die Zwischengitterplätze mit tetragonaler Symmetrie ein. Die β -Phase existiert im Konzentrationsbereich von $YH_{1,8}$ bis $YH_{2,1}$. Bei noch höheren Wasserstoffkonzentrationen nukleiert die wasserstoffreiche γ -Phase. Beim Übergang von der β zur γ -Phase ändert sich erneut die Stapelfolge des Yttriums. Es ordnet wieder in der hcp Struktur. Innerhalb der γ -Phase nehmen die Wasserstoffatome ungewöhnliche Zwischengitterplätze ein. Das hcp-Gitter bietet zwei verschiedene Arten von Zwischengitterplätzen mit symmetrischer Anordnung der umgebenden Gitterplätze an. Pro Gitterplatz gibt es zwei Zwischengitterplätze mit tetragonaler Symmetrie (T-Plätze) und einen mit oktaedrischer Symmetrie (O-Plätze). In YH_3 sind die Plätze oktaedrischer Symmetrie zur Basalebene des hcp-Gitters hin verschoben. Eine zusätzliche sinusförmige Modulation versetzt ein Drittel der O-Plätze oberhalb und ein Drittel unterhalb der Basalebene. Somit verbleiben ein Drittel der O-Plätze in der Basalebene selbst. Bedingt durch die Umgruppierung der O-Plätze sind die T-Plätze ebenfalls leicht aus ihrer symmetrischen Position versetzt. Die so resultierende Kristallstruktur hat die Raumgruppe $P\bar{3}c1$; Prototyp dieser Struktur ist HoD_3 . Die Größe der Mischungslücke zwischen der β - und der wasserstoffreichen γ -Phase ist immer noch Gegenstand aktueller Diskussion.

Die strukturellen Phasenübergänge werden von Änderungen der Elektronenkonfiguration einschließlich eines Metall–Isolatorübergangs in der wasserstoffreichen Trihydridphase begleitet. Besonders augenfällig ist dabei der optische Übergang bei hohen Wasserstoffkonzentrationen in dünnen Yttriumschichten. Während Y und YH_2 metallischen Charakter haben und sichtbares Licht reflektieren, ist YH_3 optisch transparent. Unter geeigneten Bedingungen vollzieht sich dieser Übergang innerhalb von Sekundenbruchteilen, so daß sich dieser Vorgang für das menschliche Auge abrupt vollzieht. Die Reversibilität dieses Effekts macht ihn für technologische Anwendungen interessant.

Die Änderungen der elektronischen Konfiguration sind auch anhand des elektrischen Widerstands zu verfolgen. In der α -Phase tritt der Wasserstoff zunächst als Verunreinigung in Er-

scheinung. Der elektrische Widerstand steigt mit steigender Konzentration bis zum Erreichen der Phasengrenze an. Oberhalb der kritischen Konzentration fällt er dann mit steigender Wasserstoffkonzentration bis zum Erreichen der β -Phase. In der β -Phase beträgt der Widerstand nur noch ein fünftel seines ursprünglichen Wertes. Vom Standpunkt des elektrischen Widerstandes ist YH_2 somit das bessere Metall als das reine Yttrium. Die γ -Phase ist dagegen ein sehr schlechter elektrischer Leiter. Zwischen dem Valenzband und dem Leitungsband wurde eine Bandlücke 1.8 eV gefunden. Trotzdem verhält sich YH_3 nicht wie ein klassischer Halbleiter. Bei gegebener Wasserstoffkonzentration zeigt der Widerstand ein logarithmisches Temperaturverhalten. Außerdem ist YH_3 auch unterstöchiometrisch, also bei hoher Dotierung, noch transparent. Klassische Halbleiter wie Silizium oder Germanium sind bei gleicher Dotierung längst metallisch.

Bis jetzt sind die optischen und elektronischen Eigenschaften des H-Y Systems nicht vollständig verstanden. Bandstrukturrechnungen, die auf der $P\bar{3}c1$ Struktur basieren, ergeben keine Bandlücke für YH_3 . Da das wasserstoffbedingte, optische Schalten bisher nur an dünnen Yttriumschichten, nicht jedoch an Volumenproben beobachtet wurde, ist es denkbar, daß die optische Transparenz der YH_3 -Phase eine Dünnschichteigenschaft ist. Ein wesentliches Thema dieser Arbeit war somit die Frage nach der Kristallstruktur dünner Yttriumhydridschichten und die Suche nach möglichen Abweichungen von der Volumenstruktur.

9.2. Probenpräparation und Experimentelle

Methoden

Alle untersuchten Proben wurden mittels Molekularstrahlepitaxie (MBE) hergestellt. MBE ist eine Methode der physikalischen Dampfdeposition, bei der das aufzudampfende Material thermisch verdampft und auf einem geeigneten Trägermaterial, dem Substrat, abgeschieden wird. Hohe Reinheit der Ausgangsmaterialien sowie Ultrahochvakuumbedingungen in der Aufdampfkammer sind unerläßliche Voraussetzungen für chemisch reine Proben. Der Abscheidungsprozeß selbst läßt sich über die Substrattemperatur und die Aufdampfrate steuern. Während des Wachstums lassen sich mit Hilfe eines Manometers und eines Massenspektrometers die Vakuumbedingungen einschließlich einer Restgasanalyse überprüfen. Die Kristallqualität der wachsenden Probe kann mittels Elektronenbeugung *in situ*, also während des Aufdampfprozesses überwacht werden.

Die Yttriumfilme wurden auf Nb/Al₂O₃ Substraten aufgedampft. Niob wächst epitaktisch auf Al₂O₃. Es bildet eine einkristalline Unterlage und ermöglicht so das epitaktische Wachstum von Yttrium, welches einkristallin in der Nishiyama–Wassermann Orientierung auf dem Niob aufwächst. Weiterhin dient das Niob als Barriere zum Saphir und verhindert so eine chemische Reaktion zwischen dem Yttrium und dem Substrat. Niob selbst bildet keine Legierung mit Yttrium, so daß man das Yttrium, um eine hohe Kristallqualität zu erzielen, bei hohen Temperaturen aufdampfen kann, ohne daß es zu chemischen Reaktionen oder zur Legierungsbildung kommt. Um die Proben vor Korrosion zu schützen und um die Wasserstoffaufnahme aus der Gasphase zu ermöglichen wurden die Proben mit einer Palladiumschicht abgedeckt. Palladium vermag H₂ Moleküle katalytisch zu spalten und den so entstehenden atomaren Wasserstoff zu adsorbieren. Die Palladiumdeckschicht wirkt somit zusätzlich als Filter für den Wasserstoff.

Die Proben wurden zumeist mit Röntgen– und Neutronenbeugung untersucht. Um die Messungen in Wasserstoffatmosphäre durchführen zu können wurden mehrere Vakuumkammern gebaut bzw. umgebaut. Die Anforderungen an die Kammern waren hoch. Sie sollten wasserstoffdicht sein, die Proben temperatur und der Wasserstoffdruck sollten regelbar sein. Keines der verwandten Materialien durfte unter Wasserstoffversprödung leiden. Um die Beugungsversuche durchzuführen mußten Fenster für die jeweilige Strahlung eingebaut werden, die einen möglichst großen Winkelbereich abdecken sollten. Außerdem sollte optional die Möglichkeit vorhanden sein, den elektrischen Widerstand der Probe zu messen. Um die Kammern an verschiedenen Diffraktometern einzusetzen mußten sie transportabel sein. Da an verschiedenen Diffraktometern verschiedene Streugeometrien realisiert wurden, mußte es außerdem möglich sein, die Probe in verschiedenen Lagen einzubauen.

Die strukturellen Untersuchungen wurden im Wesentlichen mittels Röntgen– und Neutronenbeugung durchgeführt. Röntgenbeugung basiert auf der elektromagnetischen Wechselwirkung der Röntgenstrahlung mit den Elektronen des zu untersuchenden Materials. Sie ist somit geeignet die Kristallstruktur des Yttriums zu bestimmen und die strukturellen Phasenübergänge zu verfolgen. Da Wasserstoff nur ein Elektron pro Atom besitzt, ist die Wechselwirkung von Röntgenstrahlung mit Wasserstoff sehr gering. Für Neutronen, welche über die starke Wechselwirkung an den Atomkernpotentialen gestreut werden, ist dies anders. Wasserstoff und Deuterium besitzen jeweils einen relativ großen Wirkungsquerschnitt für die Neutronenbeugung. Die Tatsache, daß die Streulänge für beide Isotope verschiedene Vorzeichen hat, läßt sich z. B. zur Bestimmung der Wasserstoffkonzentration über den Strukturfaktor bestimmen. Neben der Bragg–Beugung wurden auch Reflektivitätskurven zur Schichtdickenbestimmung, und im Falle der Neutronen auch zur Bestimmung der Wasserstoffkonzentration genutzt.

Die Röntgenbeugungsexperimente wurden an verschiedenen Diffraktometern an der Ruhr-Universität in Bochum sowie an der europäischen Synchrotronquelle (European Synchrotron Radiation Facility, ESRF) in Grenoble, Frankreich durchgeführt. Die Neutronenbeugungsexperimente erfolgten am europäischen Hochfluß-Reaktor des Instituts Max von Laue – Paul Langevin in Grenoble sowie am Reaktor des Forschungszentrums in Jülich. Das kleine Streuvolumen und die damit verbundenen langen Zählzeiten stellten oft eine große Herausforderung dar. So sind die Messungen an der *Imaging Beamline ID19* der ESRF die ersten Messungen an Phasenübergängen in dünnen metallischen Schichten überhaupt.

9.3. Ergebnisse

Ausgehend von einkristallinen, epitaktisch auf Nb(110)/Al₂O₃ Substraten aufgedampften Yttriumfilmen gelang es mittels Wasserstoffadsorption aus der Gasphase erstmals einkristalline Yttriumhydridfilme herzustellen. Bedingt durch die epitaktische Fehlanpassung zwischen Y und Nb und durch Wassertoffverunreinigungen während des Aufdampfens, weichen die atomaren Abstände der unbeladenen Yttriumfilme leicht von den Literaturwerten für Volumenkristalle ab. So ist der Gitterparameter für die c-Achse um 0,3 Prozent auf 5,75 Å gedehnt, wohingegen der Gitterparameter der a-Achse um 0,5 Prozent auf 3,63 Å gestaucht ist.

Obwohl sich die Niob Pufferschicht durch eine uniaxiale strukturelle Asymmetrie auszeichnet, besitzt der Y Film die volle sechszählige Symmetrie des Volumenkristalls. *In plane* haben alle äquivalenten Gitterebenen denselben Gitterparameter, unabhängig davon, wie sie im Bezug zu dem Niobgitter orientiert sind.

Unter Wasserstoffbeladung dehnt sich der Y Film entlang der c-Achse innerhalb der α -Phase bis zum Erreichen der Phasengrenze um bis zu 1,22 Prozent aus. Weiteres Beladen führt zur Nukleation der β -Phase. Der Gitterparameter von YH₂ beträgt dabei 5,21 Å, was einem c-Achsenabstand von 3,01 Å entspricht. Dieser Phasenübergang beeinträchtigt die Kristallqualität des Yttriumfilms. Die Halbwertsbreite der Rockingkurve, ein Maß für die mittlere Verkipfung einzelner Kristalldomänen untereinander, erhöht sich um einen Faktor fünf bis sechs. Gleichzeitig nimmt die maximale Intensität der gebeugten Röntgenstrahlung um denselben Faktor ab. Die Halbwertsbreite des radialen Scans, ein Maß für die Anzahl der kohärent streuenden Netzebenen, bleibt jedoch konstant. Somit bleibt auch die integrierte Streuintensität erhalten. Führt man dem System noch mehr Wasserstoff zu, so dehnt sich der Kristall weiter entlang der c-Achse aus. Die Änderung des Gitterparameters erfolgt wiederum diskontinuierlich. Die γ -Phase be-

sitzt schließlich eine *out of plane* Gitterkonstante von 6,62 Å. Gegenüber dem unbeladenen Gitters ist dies eine Expansion von 15,5 Prozent. Beim Übergang von der β - zur γ -Phase erfolgt keine weitere Beeinträchtigung der Kristallqualität. Darüberhinaus ist dieser Phasenübergang unter Beibehaltung der vollen strukturellen Kohärenz völlig reversibel. Bei einem Übergang von einer hexagonal dichtesten Kugelpackung zu einer kubisch dichtesten Kugelpackung, also beim Übergang der Stapelfolge ABABAB... zu ABCABC..., geht die hexagonale c -Achse in eine kubische (111)-Achse über. In diesem Fall ist die Beibehaltung der strukturellen Kohärenz nicht verwunderlich, da die Zuordnung eindeutig erfolgt. Das kubische Gitter verfügt jedoch über 4 äquivalente (111)-Achsen, die bei einem erneuten Phasenübergang jeweils zu einer neuen c -Achse werden könnten. Somit wäre zu erwarten, daß die Probe beim Übergang von der β - zur γ -Phase in vier Domänen zerfällt. Dies ist jedoch offensichtlich nicht der Fall. Yttrium Einkristalle verhalten sich jedoch wie erwartet. Die mit den Phasenübergängen verbundenen Änderungen der Stapelfolge in Verbindung mit der Volumenexpansion zerstören den Kristallverband. Die Frage, ob in epitaktisch aufgedampften, einkristallinen dünnen Yttriumfilmen die Änderung der Stapelfolge unterdrückt wird oder nicht, konnte ebenfalls mit Beugungsmethoden beantwortet werden. Durch die Auswahl bestimmter, auf die Stapelfolge sensitiver Reflexe konnte gezeigt werden, daß sich auch in dünnen, einkristallinen Filmen die Stapelfolge bei den Phasenübergängen ändern. Offensichtlich reicht die Haftung des Yttriums auf dem Niob aus, um diejenige der äquivalenten (111)-Achsen auszuzeichnen, welche senkrecht zur Grenzfläche steht und somit mit dem geringsten Energieaufwand expandieren kann.

Die Modulation der Wasserstoffatome in der Basalebene konnte durch Neutronenbeugung in der Trihydridphase ermittelt werden. Aufgrund der höheren kohärenten Streulänge wurden diese Versuche an deuterierten Proben durchgeführt. Die Modulation liegt ausschließlich in den $[11\bar{2}0]$ Richtungen. Sie macht sich durch zusätzliche Reflexe bemerkbar, die einzig entlang dieser Richtungen auftreten. Diese Reflexe tauchen nur in der YD_3 -Phase auf und sind mit Röntgenbeugung nicht sichtbar. Sie stammen also eindeutig von der Deuteriumordnung in der γ -Phase. Die Modulation ist kommensurabel mit dem Metallgitter und führt zu einer Verdreifachung der Einheitszelle. Die Amplitude der Modulation ist durch den Intensitätskontrast zwischen dem YH_3 (0002) Reflex und dem YD_3 (0002) Reflex bestimmbar. Durch die unterschiedliche Streulänge der verschiedenen Wasserstoffisotope reagiert der Strukturfaktor sehr empfindlich auf den Isotopenaustausch. Dabei bestimmt die Lage der Wasserstoffatome bezüglich der Yttriumebenen und die Wasserstoffkonzentration die Differenz der Strukturfaktoren. Das heißt, sobald es gelingt, die Wasserstoffkonzentration zu bestimmen, kann man über den Strukturfaktor die Kristallstruktur bestimmen. Andererseits läßt sich so die Wasserstoffkonzentration

bestimmen, wenn man die Kristallstruktur kennt. Die gemessenen integrierten Intensitäten der beiden Reflexe unterscheiden sich um 21,5 %. Modellrechnungen, die auf der $P\bar{3}c1$ Struktur basieren, ergeben ebendiesen Wert, wenn man eine Wasserstoffkonzentration von $x = 2,98 \pm 0,02$ zu Grunde legt.

Zur Konzentrationsbestimmung in der Trihydridphase kann ebenfalls die Wechselwirkung der Probe mit Neutronen benutzt werden. Im Kleinwinkelbereich bestimmt die mittlere Streulängendichte die Lage der Totalreflexionskante. Mit den bekannten Werten für die Streulängen von Yttrium und Deuterium ist somit die Position des kritischen Winkels ein direktes Maß für die Deuteriumkonzentration. Dabei spielt die Kristallstruktur keine Rolle, so daß mit dieser Information die angenommene Kristallstruktur überprüft werden kann. Die so ermittelte Wasserstoffkonzentration liegt bei $x = 2,96 \pm 0,03$.

Alle hier präsentierten Messungen zur Kristallstruktur sind selbstkonsistent. Es sind keinerlei Abweichung zur $P\bar{3}c1$ Struktur aufgetaucht, derjenigen Struktur in der YH_3 Volumenproben kristallisieren. Offenbar gibt es keine abweichende Kristallstruktur gegenüber dünnen epitaktischen Schichten. Somit ist die beobachtete Bandlücke und die mit ihr verbundene optische Transparenz in der γ -Phase nicht auf eine Symmetriebrechung im Kristallgitter zurückzuführen.

Für die technologische Anwendung wasserstoffschaltbarer Yttriumschichten muß die Schaltzeit optimiert werden, d. h. neben dem Verständnis des Prozesses auf atomarer Ebene ist die geschwindigkeitsbestimmende, makroskopische Struktur des Systems von besonderer Bedeutung. Das Gefüge des Materials, die Domänenstruktur, sowie die Kinetik der Keimbildung und die damit verbundene Mobilität der Phasengrenze wurde mit Hilfe der Röntentopographie studiert. Röntgentopographie ist ein bildgebendes Verfahren, daß auf Röntgenbeugung basiert. Dabei erhält man die Ortsauflösung über das homogene Ausleuchten der Probe mit einem ausgedehnten, monochromatischen Strahl geringer Divergenz. Die reflektierte Strahlung wird dann mit einem photographischen Film, der als offener Detektor wirkt, aufgenommen. Das Auflösungsvermögen dieser Methode ist im Wesentlichen durch die Divergenz des Strahls und die Körnung des Films gegeben. Die topographischen Aufnahmen des Yttriumfilms zeigen großflächige Strukturen mit sanften Konturen und Kontrastwechseln. Dies deutet auf ein kohärentes Kristallgefüge hin, in dem die einzelnen Domänen zusammenhängende Netzebenen besitzen und sich die Fehlorientierung stetig ändert. Die Größe der einzelnen Domänen liegt dabei unterhalb der Auflösung des photographischen Films von ca. einem Mikrometer. Zusammen mit den gemessenen *in-plane* Kohärenzlängen von typischerweise 150 Å läßt sich eine mittlere Domänengröße von 15 bis 1000 nm abschätzen. Nach der ersten Wasserstoff-

beladung erscheint das Topogramm einförmig grau. Die vorher beobachteten Strukturen sind zerstört. Während der Wasserstoffaufnahme bilden sich Keime der Hydridphase an statistisch verteilten Plätzen unterhalb der Pd Deckschicht. Unter weiterer Wasserstoffzufuhr bilden sich neue Keime, ein Wachstum der vorhandenen konnte nicht beobachtet werden. Die topographischen Aufnahmen illustrieren dabei eindrucksvoll das unterschiedliche Verhalten des diskreten Phasenübergangs des Yttriumfilms und des kontinuierlichen Phasenübergangs des Niobfilms. Während die diskreten Gitterparameter der verschiedenen Phasen im Yttrium in räumlich getrennten Beugungsreflexen auf dem photographischen Film resultieren, führt der kontinuierliche Konzentrationsgradient im Nb zu einem zusammenhängenden, gebogenen Reflex. Bedingt durch die diskreten Phasenübergänge des Y–H Systems erfolgt das laterale Fortschreiten der Wasserstofffront über heterogene Keimbildung. Innerhalb der wasserstoffärmeren Phase müssen entlang der Front neue, wasserstoffreiche Domänen entstehen um in einem Beladungsexperiment mehr Wasserstoff aufzunehmen. Diese heterogene Keimbildung ist in einkristallinen, epitaktischen Schichten der geschwindigkeitsbestimmende Schritt. In polikristallinen Filmen ist die Mobilität der Phasengrenze um zwei Größenordnungen schneller. In ihnen sind die zu schaltenden Domänen deutlich kleiner als in einkristallinen Schichten. Dazu kommt im Fall polikristalliner Schichten die verstärkte Wasserstoffdiffusion entlang der Korngrenzen. Somit sind einkristalline Schichten ideale Modellsysteme zum Studium der Kristallstruktur, sie sind jedoch aufgrund ihres aufwendigen Präparationsverfahrens und ihrer langsameren Kinetik polikristallinen Filmen unterlegen.

Die Messungen an Yttriumhydridschichten demonstrieren erstmalig die Möglichkeit die Struktur dünner Filme sowie die Kinetik von strukturellen Phasenumwandlungen in dünnen Schichten mit Hilfe der Röntgentopographie zu untersuchen. Bedingt durch das geringe Streuvolumen der Schichten und die relativ schlechte Kristallordnung war Röntgentopographie bisher im Bereich dünner Schichten im Dickenbereich von wenigen 100 Å auf Halbleiterschichten beschränkt. Erst die hohe Brillianz moderner Synchrotronquellen macht dieses Forschungsgebiet zugänglich.

Neben den Untersuchungen auf dem Gebiet der Kristallstruktur, die in dieser Arbeit präsentiert wurden, gibt es viele andere aktuelle Arbeiten im Bereich der Dünnschichthydride. Die Aufmerksamkeit, die diesem Gebiet zu Teil wird liegt an den außergewöhnlichen physikalischen Eigenschaften und deren technischen Anwendungsmöglichkeiten. So bieten sich Yttriumhydride aufgrund ihrer optischen Eigenschaften als Fenster variabler Transparenz oder als großflächige Anzeigetafeln an. Der reversibel regelbare Metall–Isolator Übergang ermöglicht ihren Einsatz im Bereich elektronischer Bauelemente. Zukünftige Arbeiten auf diesem Gebiet werden metal-

liche Multilagen wie Ho/Y oder Fe/Y einbeziehen. Auch werden lithographische Techniken dazu beitragen, laterale Nanostrukturierung an Yttriumhydridsystemen vorzunehmen.

Diese Arbeit hat gezeigt, daß es möglich ist, mittels Wasserstoffbeladung aus der Gasphase einkristalline YH_2 und YH_3 Schichten zu präparieren und ohne Verlust der Kristallqualität reversibel zwischen beiden Phasen zu schalten. Die Kristallstruktur selbst zeigt keine Abweichungen von der bekannten Struktur von Volumenproben. Sie hat weiterhin die Möglichkeit gezeigt, diese Proben mittels verschiedener Beugungsmethoden zerstörungsfrei zu untersuchen. Sie hat somit einen nicht unwesentlichen Beitrag zum Verständniss dünner Yttriumhydridschichten geleistet.