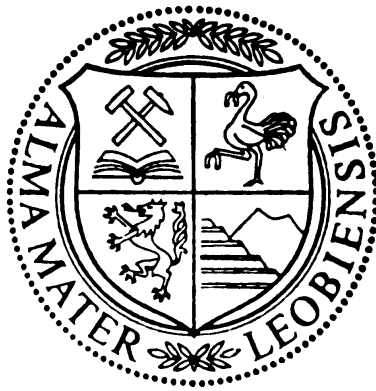


DISSERTATION

INNOVATIVES SCHICHTDESIGN
MITTELS
PULSED LASER DEPOSITION



VERFASST AM LASERZENTRUM LEOBEN DER JOANNEUM RESEARCH
FORSCHUNGSGESELLSCHAFT SOWIE AM INSTITUT FÜR
METALLKUNDE UND WERKSTOFFPRÜFUNG DER
MONTANUNIVERSITÄT LEOBEN
IM RAHMEN DES MATERIALS CENTER LEOBEN

DIPL.-ING. JÜRGEN M. LACKNER

Inhaltsverzeichnis

| | | |
|-----------|--|-----------|
| E | Einleitung | 1 |
| 1 | Atomistische Betrachtung des Schichtwachstums beim PLD-Prozess | 7 |
| 1.1 | Verdampfung des abzuschneidenden Materials mittels PLD | 9 |
| 1.1.1 | Wechselwirkung der Laserstrahlung mit dem Target | 10 |
| 1.1.2 | Verdampfung, Partikelabtrag und Ionisation (Plasmabildung) des Targetwerkstoffs | 13 |
| 1.1.2.1 | Verdampfung | 13 |
| 1.1.2.2 | Partikelabtrag (Dropletbildung) | 15 |
| 1.1.2.3 | Ionisation (Plasmabildung) | 18 |
| 1.2 | Transport des Materials zum Substrat | 19 |
| 1.3 | Kondensation und Keimbildung der Ad-Atome | 23 |
| 1.3.1 | Kondensation | 23 |
| 1.3.2 | Keimbildung | 27 |
| 1.4 | Keimwachstum | 29 |
| 1.5 | Ausbildung des Interfaces Substrat-Schicht | 32 |
| 1.6 | Schichtwachstum | 37 |
| 1.6.1 | Strukturzonenmodelle und Einfluss des Ionenbeschusses auf die Schichtbildung | 38 |
| 1.6.2 | Auswirkungen des Ionenbeschusses auf die Schichteigenschaften..... | 42 |
| 1.6.2.1 | Schichteigenspannungen | 42 |
| 1.6.2.2 | Texturen | 45 |
| 2 | Nanokristalline und amorphe PLD-Schichtsysteme | 49 |
| 2.1 | PLD-Schichten auf Silizium-Basis für optische Anwendungen | 50 |
| 2.1.1 | Silizium (Si) | 50 |
| 2.1.1.1 | Allgemeines Eigenschaftsspektrum | 50 |
| 2.1.1.2 | Silizium in der PLD-Dünnschichttechnik | 51 |
| 2.1.1.3 | Dropletproblematik bei der PLD von Siliziumschichten | 53 |
| 2.1.1.3.1 | Optimierung der Laserparameter | 53 |
| 2.1.1.3.2 | Optimierung der Eigenschaften der Targetoberfläche .. | 54 |
| 2.1.1.3.3 | Optimierung der Target-Substrat-Anordnung | 55 |
| 2.1.2 | Siliziumoxid (SiO _x) | 56 |
| 2.1.2.1 | Allgemeines Eigenschaftsspektrum | 56 |
| 2.1.2.2 | Siliziumoxid in der PLD-Dünnschichttechnik | 58 |

| | | |
|------------|--|-----------|
| 2.2 | PLD-Hartstoffschichten für tribologische Anwendungen | 60 |
| 2.2.1 | Titannitrid (TiN _x) | 60 |
| 2.2.1.1 | Allgemeines Eigenschaftsspektrum | 60 |
| 2.2.1.2 | Titannitrid in der PLD-Dünnschichttechnik | 62 |
| 2.2.2 | Titanoxid (TiO _x) | 64 |
| 2.2.2.1 | Allgemeines Eigenschaftsspektrum | 64 |
| 2.2.2.2 | Titanoxid in der PLD-Dünnschichttechnik | 67 |
| 2.2.3 | Diamond-like Carbon (DLC) | 69 |
| 2.2.3.1 | Allgemeines Eigenschaftsspektrum | 69 |
| 2.2.3.2 | DLC in der PLD-Dünnschichttechnik | 72 |
| 3 | Experimentelles | 77 |
| 3.1 | Schichtherstellung | 77 |
| 3.1.1 | Anlagentechnik | 77 |
| 3.1.2 | Target- und Substratauswahl | 82 |
| 3.1.3 | Prozess- und Arbeitsgase | 84 |
| 3.1.4 | Depositionstechnik | 84 |
| 3.1.4.1 | Dropletreduzierung bei der Einquellenverdampfung | 85 |
| 3.1.4.2 | Mehrquellenverdampfung und Substratbewegung | 89 |
| 3.1.5 | Beschichtungsablauf und Prozessparameter für die hergestellten PLD-Schichten | 92 |
| 3.2 | Schichtcharakterisierung | 94 |
| 3.2.1 | Topographische und mikrostruktureller Schichtaufbau | 94 |
| 3.2.1.1 | Atomic Force Microscopy (AFM) | 95 |
| 3.2.1.2 | Röntgendiffraktometrie (XRD) | 96 |
| 3.2.1.2.1 | Röntgenographische Phasenanalyse | 97 |
| 3.2.1.2.2 | Röntgenographische Korngrößenanalyse | 98 |
| 3.2.1.2.3 | Röntgenographische Eigenspannungsanalyse | 99 |
| 3.2.1.2.4 | Röntgenographische Texturmessung | 101 |
| 3.2.1.3 | Transmissionselektronenmikroskopie (TEM) | 101 |
| 3.2.2 | Chemischer Schichtaufbau | 102 |
| 3.2.2.1 | Elektronenstrahlmikroanalyse (EDX, WDX) | 103 |
| 3.2.2.2 | Ramanspektroskopie | 103 |
| 3.2.2.3 | Sekundärionen-Massenspektroskopie (SIMS) | 104 |
| 3.2.2.4 | Röntgen-Photoelektronen-Spektroskopie (XPS) | 105 |
| 3.2.3 | Optische Schichteigenschaften | 108 |
| 3.2.3.1 | Spektroskopische Ellipsometrie | 108 |
| 3.2.4 | Mechanische Schichteigenschaften | 111 |
| 3.2.4.1 | Nanoindentation | 112 |
| 3.2.4.2 | Haffestigkeitsmessung nach dem Rockwell-Eindrucktest | 114 |
| 3.2.5 | Technische Eigenschaften | 116 |
| 3.2.5.1 | Tribologische Eigenschaften | 116 |
| 3.2.5.1.1 | Allgemeine theoretische Grundlagen und tribologische Grundmechanismen | 116 |
| 3.2.5.1.2 | Methodik tribologischer Untersuchungen | 119 |
| 3.2.5.1.3 | Reibungsversuche im Pin-on-Disc-Test | 120 |
| 3.2.5.1.4 | Auswertung des Verschleißverhaltens | 122 |
| 3.2.5.2 | Korrosionschemische Schichteigenschaften | 124 |
| 3.2.5.2.1 | Salzsprühnebelprüfung | 124 |

| | | |
|------------|--|------------|
| 4 | Ergebnisse und Diskussion | 127 |
| 4.1 | PLD-Schichten auf Silizium-Basis für optische Anwendungen | 127 |
| 4.1.1 | Silizium (Si) | 127 |
| 4.1.1.1 | Topographie und mikrostruktureller Schichtaufbau | 128 |
| 4.1.1.1.1 | Mikroskopische Schichtdefekte – Partikel | 128 |
| 4.1.1.1.2 | Topographie der Schichtoberflächen | 130 |
| 4.1.1.1.3 | Mikrostruktur der Schichten | 132 |
| 4.1.1.2 | Chemischer Schichtaufbau | 134 |
| 4.1.1.3 | Mechanische Schichteigenschaften | 138 |
| 4.1.1.4 | Optische Schichteigenschaften | 139 |
| 4.1.2 | Siliziumoxid (SiO _x) | 140 |
| 4.1.2.1 | Topographie und mikrostruktureller Schichtaufbau | 141 |
| 4.1.2.1.1 | Mikroskopische Schichtdefekte – Partikel | 141 |
| 4.1.2.1.2 | Topographie der Schichtoberflächen | 145 |
| 4.1.2.1.3 | Mikrostruktur der Schichten | 146 |
| 4.1.2.2 | Chemischer Schichtaufbau | 148 |
| 4.1.2.3 | Mechanische Schichteigenschaften | 153 |
| 4.1.2.4 | Optische Schichteigenschaften | 154 |
| 4.2 | PLD-Hartstoffschichten für tribologische Anwendungen | 156 |
| 4.2.1 | Titannitrid (TiN _x) | 156 |
| 4.2.1.1 | Topographie und mikrostruktureller Schichtaufbau | 158 |
| 4.2.1.1.1 | Mikroskopische Schichtdefekte - Partikel | 158 |
| 4.2.1.1.2 | Topographie der Schichtoberflächen | 159 |
| 4.2.1.1.3 | Mikrostruktur der Schichten | 160 |
| 4.2.1.1.4 | Schichteigenspannungen | 167 |
| 4.2.1.2 | Chemischer Schichtaufbau | 168 |
| 4.2.1.3 | Mechanische Schichteigenschaften | 169 |
| 4.2.1.3.1 | Härte und Elastizitätsmodul | 169 |
| 4.2.1.3.2 | Haftfestigkeit | 170 |
| 4.2.1.4 | Tribologische Schichteigenschaften | 171 |
| 4.2.1.4.1 | Verhalten gegenüber 100Cr6 Gegenkörper | 171 |
| 4.2.1.4.2 | Verhalten gegenüber Al ₂ O ₃ Gegenkörper | 176 |
| 4.2.2 | Titanoxid (TiO _x) | 180 |
| 4.2.2.1 | Topographie und mikrostruktureller Schichtaufbau | 181 |
| 4.2.2.1.1 | Mikroskopische Schichtdefekte – Partikel | 181 |
| 4.2.2.1.2 | Topographie der Schichtoberflächen | 182 |
| 4.2.2.1.3 | Mikrostruktur der Schichten | 183 |
| 4.2.2.1.4 | Schichteigenspannungen | 186 |
| 4.2.2.2 | Chemischer Schichtaufbau | 186 |
| 4.2.2.3 | Mechanische Schichteigenschaften | 188 |
| 4.2.2.3.1 | Härte und Elastizitätsmodul | 188 |
| 4.2.2.3.2 | Haftfestigkeit | 189 |
| 4.2.2.4 | Tribologische Schichteigenschaften | 190 |
| 4.2.3 | Diamond-like Carbon DLC | 195 |
| 4.2.3.1 | Topographie und mikrostruktureller Schichtaufbau | 196 |
| 4.2.3.1.1 | Mikroskopische Schichtdefekte – Partikel | 196 |
| 4.2.3.1.2 | Topographie der Schichtoberflächen | 198 |
| 4.2.3.1.3 | Mikrostruktur der Schichten | 199 |
| 4.2.3.2 | Chemischer Schichtaufbau | 201 |
| 4.2.3.3 | Mechanische Schichteigenschaften | 203 |
| 4.2.3.3.1 | Härte und Elastizitätsmodul | 203 |
| 4.2.3.3.2 | Haftfestigkeit | 205 |
| 4.2.3.4 | Tribologische Schichteigenschaften | 206 |
| 4.2.3.4.1 | Einfluss der Schichtzusammensetzung auf Reibung und Verschleiß gegen 100Cr6 Gegenkörper | 206 |

Inhaltsverzeichnis

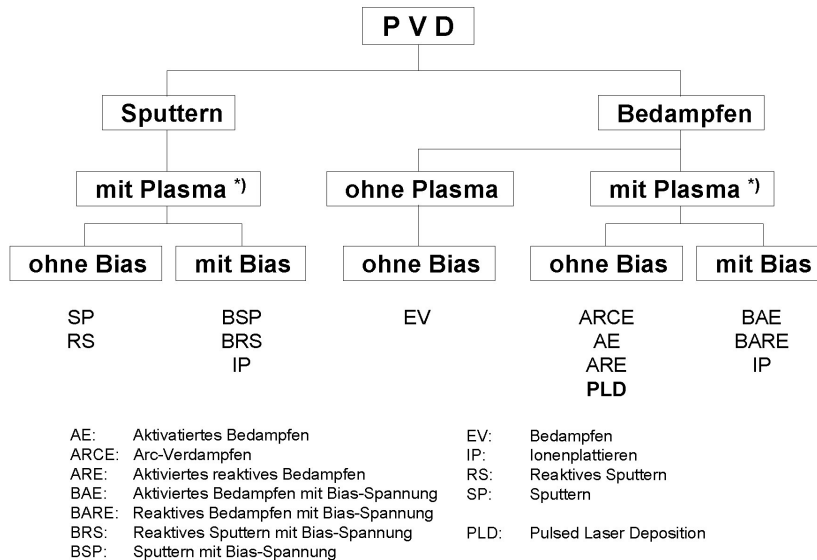
| | |
|---|------------|
| 4.2.3.4.2 Einfluss der Substrathärte auf das tribologische Verhalten..... | 211 |
| 4.2.3.5 Korrosionschemische Schichteigenschaften..... | 217 |
| 5 Zusammenfassung | 221 |
| 6 Literaturzitate | 227 |
| 7 Anhang | 247 |
| 7.1 Verzeichnis der verwendeten Formelzeichen..... | 247 |
| 7.2 Eigene Veröffentlichungen..... | 250 |

Einleitung

In der modernen Technik stellt die Oberfläche eines Werkstoffs weit mehr als nur die Begrenzung seines massiven Querschnittes dar. Sie ist vielmehr der Ort für alle Wechselwirkungen tribologischer, thermischer, chemischer, optischer oder elektrischer Art eines Bauteils mit seiner Umgebung [Haefer 1987]. Meist sind die an die Oberfläche und an das Innere des Bauteils gestellten Anforderungen unterschiedlich und zum Teil sogar gegenläufig. Deshalb gehen die Bestrebungen verstärkt in Richtung Werkstoffverbund. Spezifische Oberflächeneigenschaften bzw. Eigenschaftskombinationen werden dadurch erzielt, dass der Grundwerkstoff mit einer anwendungsspezifischen, funktionellen Schicht überzogen oder dessen Oberfläche mit Hilfe von mechanischen, chemischen bzw. thermochemischen Verfahren modifiziert wird [Haefer 1987]. In der Beschichtungstechnik wird zwischen dünnen und dicken Schichten unterschieden, wobei dünne Schichten dadurch gekennzeichnet sind, dass signifikante Abweichungen von den Eigenschaften des kompakten Schichtmaterials oder Werkstoffs („bulk material“) auftreten. Derartige Abweichungen sind auf das mit abnehmender Schichtdicke zunehmende Verhältnis von Oberflächen- zu Volumsatomen sowie auf die von den Herstellbedingungen abhängige, gegenüber dem Massivmaterial veränderte Mikrostruktur der Schichten zurückzuführen. Vor allem nanokristalline Schichten bieten neuartige Möglichkeiten eines anwendungsorientierten Werkstoffdesigns.

Dünne und ultradünne Schichten werden vorzugsweise mit Hilfe von Abscheidungsverfahren aus der Gasphase (PVD = Physical Vapour Deposition und CVD = Chemical Vapour Deposition) hergestellt. Gegenüber den CVD-Verfahren zeichnen sich die PVD-Verfahren durch niedrige Beschichtungstemperaturen, eine große Anzahl möglicher Schicht und Substratwerkstoffe, die hohe Reinheit der erzeugten Schichten und eine gute Umweltverträglichkeit der Herstellverfahren aus [Frey 1987, Hubler 1994]. Eine Einteilung der wichtigsten PVD-Prozesse kann Abb. E.1 entnommen werden: Basierend auf dem Vorgang der Targetverdampfung können zwei Hauptprozessgruppen unterschieden werden – die klassischen Bedampfungsprozesse und die Sputterprozesse. Die Bedampfungsprozesse verwenden im Normalfall direkt oder indirekt thermische

Energie, um den Targetwerkstoff zu verdampfen [Rossnagel 1995]. Sputterprozesse hingegen verwenden Partikel, welche die Targetoberfläche mit sehr hoher Energie treffen und Teilchen (Atome, Ionen, Cluster) aus dem Target herausschlagen. Um hochqualitative Beschichtungen mit guter Haftung am Grundwerkstoff und optimierter Mikrostruktur herstellen zu können, sind spezielle Maßnahmen der Dampfaktivierung notwendig [Frey 1987, Rossnagel 1995]. Normalerweise wird dies durch Plasmatechniken realisiert. In einigen der in Abb. E.1 angeführten Prozessen ist die Plasmaentstehung mit dem Verdampfungsprozess selbst kombiniert (z. B. im Falle der Arc-Verdampfung), in anderen der angeführten Beispiele (z. B. beim Ionenplattieren) erfolgt die Plasmabildung entkoppelt von der Verdampfung.



*) zusätzliche Ionisation möglich

Abb. E.1: Klassifikation der physikalischen Gasphasen-Beschichtungsverfahren (PVD-Verfahren) (nach [Ebner 2001])

Wie aus Abb. E.1 ersichtlich, gehört die Pulsed Laser Deposition (PLD) zur Gruppe der Bedampfungsprozesse, bei denen die Aktivierung der Dampfteilchen (Plasmaentstehung) mit dem Verdampfungsprozess am Target kombiniert ist [Kreutz 1995]. Die Verdampfung und die Aktivierung des abströmenden Dampfes erfolgen mittels eines fokussierten, gepulsten Laserstrahls. Eine weitere Aktivierung des Dampfes durch Verwendung von separaten Plasmen wäre prinzipiell möglich, wird jedoch normalerweise nicht angewendet. Infolge seiner außergewöhnlichen Prozessmerkmale ist das PLD-Verfahren eine sehr gut etablierte Beschichtungstechnologie für Laborzwecke. Dies ist vor allem auf die Abscheidbarkeit einer Vielzahl verschiedener Schichtsysteme mit komplexen chemischen Zusammensetzungen, die für tribologische (Reibungs- und Verschleißschutz), magnetische, elektrische und mikroelektronische bzw. optische, optoelektronische und dekorative

Anwendungen erforderlich sind, zurückzuführen (z. B. [Xi 1994, Fork 1994, Donley 1994, Lunney 1995, Muenchhausen 1994]).

Bereits im Jahre 1965, kurz nach Erfindung des ersten Lasers, wurde erstmals demonstriert, dass die Abscheidung dünner Schichten prinzipiell möglich ist, indem der zur Schichtherstellung notwendige Dampf durch Bestrahlung eines Festkörpers mit intensivem Laserlicht erzeugt wird. Allerdings waren die zu diesem Zeitpunkt verfügbaren Laser noch nicht besonders gut für diese Aufgabe geeignet. Ein erster großer Entwicklungsschritt der Puls laserabscheidung gelang mit der Entwicklung von Laserquellen mit sogenanntem elektrooptischem „Q-switch“, die extrem hohe Pulsspitzenleistungen und kurze Pulsdauern ermöglichten [Cheung 1994]. Von Anfang an lag der Schwerpunkt der Aktivitäten bei physikalischen Schichten wie Halbleiterschichten und dielektrischen Schichten. Der eigentliche Durchbruch der Schichtabscheidung mittels PLD ist jedoch erst Mitte der 80er Jahre mit der erfolgreichen Abscheidung von Hochtemperatursupraleiterschichten gelungen [Cheung 1994].

Abb. E.2 zeigt die Hauptkomponenten eines PLD-Beschichtungssystems. Folgende Komponenten sind für die Herstellung von Beschichtungen notwendig: Vakuumkammer, Vakuumpumpensystem, Gasversorgung, gepulstes Lasersystem, optische Laserstrahlführung und Targetmanipulator. Weiters ist der Einsatz von Substratmanipulatoren, Einrichtungen für Substratreinigung, Substrat- bzw. Targetbeheizung und -kühlung sowie zusätzlicher Plasmaaktivierung möglich.

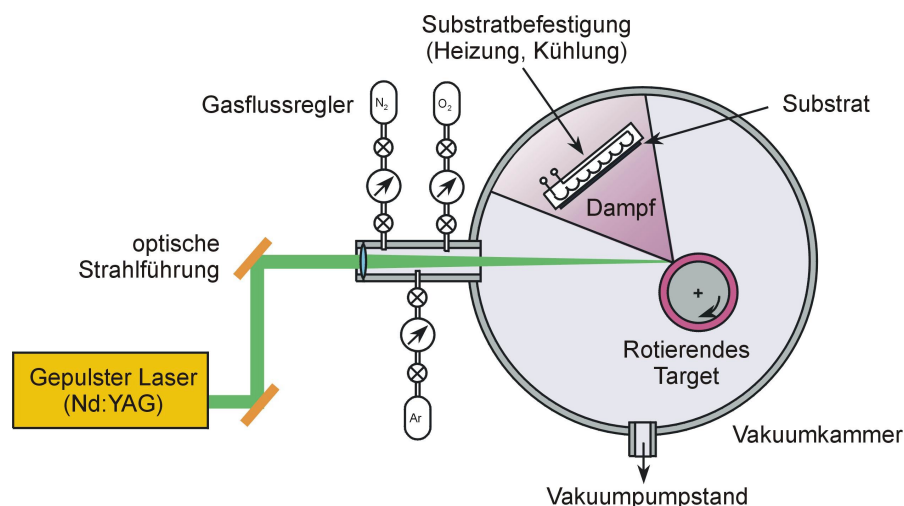


Abb. E.2: Prinzip und Anlagenkomponenten der PLD-Beschichtung [Ebner 2001]

Um den Targetwerkstoff zu verdampfen, werden in der PLD gepulste Laserstrahlen mit hohen Pulsleistungen verwendet. Für deren Erzeugung sind in der PLD verschiedene Typen von Puls lasern unterschiedlicher Wellenlängen (Festkörperlaser (z. B. Nd:YAG), Gaslaser (z. B. TEA-CO₂), Excimerlaser (z. B.

ArF), Diodenlaser) derzeit in Verwendung (z. B. [Kreutz 1995, Metev 1994]). Der Laserstrahl, der auf die Targetoberfläche auftrifft, heizt zunächst die bestrahlte Oberfläche auf. Aufgrund der hohen Leistungsdichten kann jedes bekannte Material mittels gepulster Laserstrahlung verdampft werden. Mehr als 300 verschiedene Werkstoffe, ausgehend von Reinmetallen, über Legierungen, Halbleitern bis hin zu Keramiken und Kunststoffen, wurden bereits erfolgreich mittels PLD abgeschieden [Greer 1995, Saenger 1994]. Die meisten PLD-Systeme verwenden Laser mit einer Pulsdauer im Nano- bis Mikrosekundenbereich. Infolge dieser kurzen Pulsdauer werden sehr hohe Leistungsdichten ($> 10^9 \text{ W/cm}^2$) benötigt, um die Verdampfungstemperatur des Targetwerkstoffs im Wechselwirkungsbereich mit dem Laserstrahl innerhalb der kurzen Zeit zu überschreiten. Um eine hohe Verdampfungsleistung zu erreichen, muss ein Großteil der Pulsenergie für die Verdampfung zur Verfügung stehen. Diese hohen Leistungsdichten können im Normalfall durch Fokussierung des Laserstrahls erreicht werden.

Durch unzureichende Verdampfung, ausgelöst durch ungünstige optische, thermophysikalische und mechanische Eigenschaften des Targetwerkstoffs sowie durch eine zu niedrige Leistungsdichte, kann es auch zum Ausstoß von flüssiger Materie aus dem Wechselwirkungsbereich kommen. Dies führt im weiteren zum größten Nachteil des PLD-Prozesses: Die ausgestoßenen flüssigen Partikel (Droplets) werden auch auf der Substratoberfläche niedergeschlagen, was in vielen Anwendungsgebieten zur Einschränkung der Anwendbarkeit von PLD-Beschichtungen führen kann.

Die hohen Leistungsdichten während der Verdampfung des Targetwerkstoffs führen nicht nur, wie bereits angesprochen, zu sehr hohen Temperaturen im Wechselwirkungsbereich, sondern auch zu einer starken Wechselwirkung mit dem Dampf. Die Folgen daraus sind hohe Dampfdrücke in der Wechselwirkungszone und eine ausgeprägte Ionisation der Dampfteilchen [Geohegan 1994]. Diese hohen lokalen Dampfdrücke führen zu einer sich explosionsartig expandierenden, stark ionisierten Dampf Wolke. Diese Expansion ist hauptsächlich senkrecht zur Targetoberfläche in Form eines Kegels zu erkennen. Der Teilchenstrom hat seine höchste Dichte im Zentrum der Dampf Wolke, und die Teilchendichte nimmt mit steigender Entfernung vom Zentrum ab. Die Folge ist der zweite große Nachteil des PLD-Verfahrens: Die Dicke von PLD-Beschichtungen, die mittels einer einzigen Verdampferquelle hergestellt werden, ist im Zentrum am größten und nimmt normalerweise rasch mit steigender Entfernung vom Zentrum ab. Verschiedene Strategien wurden in den letzten Jahren verfolgt, um PLD-Beschichtungen mit einheitlicher Dicke herstellen zu können [Greer 1994]. Von diesen Methoden wird derzeit die Mehrquellenverdampfung, d.h. die Verwendung von mehreren Laserstrahlen zur Verdampfung, als die flexibelste und anpassungsfähigste Lösung zur Erreichung von homogenen Schichtdicken von PLD-Schichten auf großen Substraten angesehen [Greer 1994].

Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, Lösungen zur Umgehung dieser beiden Hauptnachteile des PLD-Prozesses zu finden und diese an einigen Modellschichtsystemen zu testen. Dafür ist im besonderen das Verständnis der Vorgänge während der Abscheidung, d.h. von der Laser-Target-Wechselwirkung über die Plasmaerzeugung bis hin zum Schichtwachstum und möglicher Veränderungen von diesem durch Einflüsse des Plasmas, notwendig. Um einen Einblick in dieses Gebiet zu erlangen, wird in Kapitel 1 versucht, den Kenntnisstand über den Ablations- und Depositionsprozess in der PLD zusammenzufassen und mit anderen PVD-Verfahren, i. a. Sputtern und thermisches Bedampfen, zu vergleichen.

Ein detaillierter Zugang zu den hergestellten Modellschichtsystemen soll in Abschnitt 2 aufgezeigt werden. Zum einem sind dies Silizium-Basis-Schichten für optische und optoelektronische Anwendungen, wie Rein-Silizium und Oxide des Siliziums mit unterschiedlichen, größtenteils nichtstöchiometrischen Zusammensetzungen. Zum anderen wurden für die vorliegende Arbeit Hartstoffschichten für den Reibungs- und Verschleißschutz hergestellt. Als Modellschichtsysteme wurden Titanitrid (TiN_x), Titanoxid (TiO_x) und „Diamond-like Carbon“ (DLC) ausgewählt. In Fortführung des Konzeptes für die Silizium-Basis-Schichten wurde auch für die Hartstoffschichten in Kapitel 2 versucht, zunächst die chemischen und strukturellen Eigenschaften der in den Systemen möglichen auftretenden kristallinen und amorphen Phasen zu beschreiben. Da die PLD, wie eingangs erwähnt, derzeit hauptsächlich ein Beschichtungsverfahren für Laborzwecke darstellt, wurde im Anschluss versucht, aus den Eigenschaftsspektren dieser Schichten Hinweise auf eine zukünftige mögliche technische und industrielle Anwendbarkeit der hergestellten Schichten zu erarbeiten.

Kapitel 3 widmet sich der Darstellung der eingesetzten PLD-Anlagen zur Schichtherstellung und den Grundzügen und –prinzipien der großen Zahl eingesetzter Schichtcharakterisierungsverfahren. Die beiden für die Erstellung der vorliegenden Arbeit eingesetzten PLD-Anlagen befinden sich am Laserzentrum Leoben der JOANNEUM RESEARCH Forschungsgesellschaft mbH. Für die Schichtentwicklung im Labormaßstab stand eine Laboranlage nach dem Einquellerverdampferprinzip (1 Laserstrahl) zur Verfügung. Diese wurde vor allem für die Entwicklung eines Abscheidungsprozesses für Silizium-Basis-Schichten höchster Schichtoberflächenreinheit benutzt, da bereits am Beginn der Arbeiten die Dropletproblematik bei der Verdampfung von Silizium bekannt war. Ebenfalls wurde die Entwicklung neuer PLD-Hartstoffschichtsysteme wie DLC auf dieser Anlage durchgeführt. Für die Umsetzung der Modellschichten auf einen Beschichtungsprozess in industrieller Standardgröße stand ein Mehrquellenverdampfersystem mit vier Laserstrahlen zur Verfügung, in dem neben der Abscheidung der beiden Hartstoffschichtsysteme TiN_x und TiO_x auch eine Bemusterung von industriell eingesetzten Werkzeugen mit diesen optimierten Schichtsystemen erfolgte.

Die Schichtcharakterisierung, deren Ergebnisse in Kapitel 4 zusammengefasst sind, beschäftigt sich tiefgreifend mit Struktur- und Eigenschaftsbeziehungen der hergestellten Schichtsysteme. Wird bei den Silizium-Basis-Schichten für optische und optoelektronische Anwendungen besonderer Schwerpunkt vor allem auf die Ablationsvorgänge (i. a. Vorgänge zur Dropletbildung und Dropletvermeidung) und die Darstellung des optischen Verhaltens gelegt, so stehen bei den Hartstoffschichten vor allem die tribologischen und mechanischen Eigenschaften der Schichten im Vordergrund. Bei allen Modellschichtsystemen wurde jedoch auch besonderer Wert auf die chemische und mikrostrukturelle Charakterisierung gelegt. Durch die zum Teil einige 10 Nanometer dünnen PLD-Schichten musste bei der Charakterisierung dieser auf nicht an der Montanuniversität Leoben vorhandene Untersuchungsmethoden zurückgegriffen werden. Als Folge entstanden eine Reihe von Kooperationen mit Partnern auf österreichischer sowie auf europäischer Ebene. Somit konnte erstmalig ein umfassendes Bild der Beziehungen zwischen Schichtstruktur und Schichteigenschaften einer größeren Anzahl von PLD-Schichten gewonnen werden.

5 Zusammenfassung

Die Pulsed Laser Deposition (PLD) stellt, wie aus den Ergebnissen der vorliegenden Arbeit hervorgeht, ein leistungsfähiges Verfahren zur Herstellung von Dünnschichten für eine Vielzahl von Anwendungsgebieten dar. Ihr Grundprinzip beruht auf dem dampfförmigen Abtrag eines festen Targetwerkstoffes mit Hilfe eines Laserstrahls im Vakuum bzw. unter Inert- oder Reaktivgasatmosphären (wie in der vorliegenden Arbeit angewendet) mit geringen Gesamtdrücken. Durch den Einsatz eines hochenergetischen Laserstrahls kommt es durch Wechselwirkung des Laserstrahls mit dem Dampf zu einer starken Ionisation und zur Bildung eines laserinduzierten Plasmas, wodurch gegenüber anderen physikalischen Dampfphasenbeschichtungsprozessen (PVD) der Vorteil einer Senkung der Beschichtungstemperaturen des mit dem hochenergetischen Dampf beschichteten Substrats bis hinab auf Raumtemperatur ohne Einbußen in der Haftung der Schichten auf dem Substratwerkstoff möglich ist.

In der vorliegenden Arbeit konnte dies an den Modellschichten auf Basis des Siliziums und seiner Oxide (SiO_x) für optische und optoelektronische Anwendungen sowie an Hartstoffschichten in den Systemen Titan-Stickstoff (TiN_x), Titan-Sauerstoff (TiO_x) und Diamond-like Carbon (DLC) für industrielle Anwendungen gezeigt werden. Für das erreichte optimale Eigenschaftsspektrum der Schichten war auch der Einsatz spezieller Techniken zur Vermeidung der beiden größten Nachteile des PLD-Verfahrens erforderlich: Zum einem ist dies bei Targetwerkstoffen mit ungünstigen thermophysikalischen Eigenschaften (z.B. niedriger Absorptionsgrad bei der angewendeten Laserwellenlänge, hohe Wärmeleitfähigkeit), wie z. B. bei Silizium, die Entstehung von großen Mengen an schmelzflüssigem Material bei der Wechselwirkung an der Targetoberfläche, der aus dem Wechselwirkungsbereich austreten und sich in Form von bereits erstarrten Partikeln oder noch schmelzflüssigen Droplets auf der Substratoberfläche niederschlagen kann und somit zu für viele Einsatzgebiete ungenügenden Oberflächenqualitäten führt. Zum anderen kann als großer Nachteil der heute verfügbaren PLD-Anlagen die geringe Größe der Beschichtungskammern und beschichtbaren Flächen angeführt werden. Diese

stellt sich einer industriellen Nutzung vor allem wegen der beschränkten beschichtbaren Flächen entgegen. Wie aus den Ergebnissen der umfangreichen, in der vorliegenden Arbeiten durchgeführten Schichtcharakterisierung hervorgeht, konnten diese Einschränkungen des PLD-Prozesses erfolgreich umgangen werden.

Wie bereits erwähnt wurde, stellt eine partikelarme bzw. dropletarme Herstellung von Schichten, wie z. B. auf Silizium-Basis, große Ansprüche an die Optimierung des PLD-Prozesses. Durch den Übergang von einer parallelen Position von Target- und Substratoberfläche („on-axis“) zu einer Anordnung, in der diese beiden Flächen einen rechten Winkel einschließen („off-axis“) und zusätzlich ein Schirm („Shutter“) das Substrat vor einem direkten Teilchenbeschuss vom Target schützt („shaded off-axis“), gelang eine im Vergleich zu bisher bekannten Ergebnissen nahezu partikelfreie Abscheidung der Si- und SiO_x-Schichten. Die nähere Betrachtung des Ablationsprozesses führt in Verbindung mit dem Kenntnisstand der Literatur zur Beschreibung verschiedener Phänomene beim Abtrag von festen Partikeln wie auch schmelzflüssigen Droplets vom Target. So kommt es durch die Oxidation der Targetoberfläche infolge der Bildung von Si-O-Verbindungen zum Übergang von sphärischen, aus dem Schmelzabtrag stammenden Droplets hin zu spratzigen, im festen Zustand abgetragenen Teilchen. Dies konnte durch einen sehr geringen Absorptionskoeffizienten von SiO bzw. SiO₂ für die Wellenlänge der anregenden Laserstrahlung gegenüber jenem von Rein-Si erklärt werden, da dadurch eine Erwärmung der Oxidschicht durch die Laserstrahlung verhindert wird, und es zum Absplittern der Schicht infolge der Verdampfung des darunter liegenden Siliziums kommt.

Die Oberflächen der aufgedampften Schichten sind in allen Fällen sehr glatt. Infolge der niedrigen kinetischen Energie der „off-axis“ auf der Substratoberfläche abgeschiedenen Partikel ist eine Aktivierung der Oberflächendiffusion zur Bildung von (nano-)kristallinen Schichten bei Silizium und Siliziumoxiden nicht möglich. Diese niedrigen Teilchenenergien haben ihre Ursache in der angewendeten „shaded off-axis“ Beschichtungsanordnung, die einen direkten Einfall von vom Target ablatierten Teilchen auf die Targetoberfläche nicht zulässt. Somit ist die Streuung dieser Atome, Ionen bzw. Cluster mit dem Prozessgas zur Schichtabscheidung zwingend notwendig. Für die unter reaktiven Atmosphären abgeschiedenen Schichten sind diese Teilchenstöße höchstwahrscheinlich für die Verbindungsbildung der ablatierten Siliziumatome bzw. -ionen mit Sauerstoff bzw. Stickstoff verantwortlich, wie sich aus XPS-Untersuchungen der Bindungsstrukturen der abgeschiedenen Schichten ableiten lässt. Weitere Bestätigung der amorphen Struktur der Schichten konnte aus dem Vergleich der optischen Konstanten der ultradünnen Schichten, die durch spektroskopische Ellipsometrie erhalten wurden, mit Literaturangaben erhalten werden. Die ermittelten Schichtdicken lagen im Bereich zwischen 70 und 130 nm, wobei der Einsatz der Reaktivgasatmosphären (O₂) durch höhere Schichtbildungsraten deutlich erkennbar ist. Diese geringen Schichtdicken führten auch zur Anwendung der SIMS als eines der wenigen einsetzbaren Verfahren zur Darstellung der quantitativen chemischen

Zusammensetzung von ultradünnen Beschichtungen. Durch Variation der Gaszusammensetzung im Rezipienten während der Abscheidung konnten SiO_x -Verbindungen in nahezu beliebiger Zusammensetzung hergestellt werden, die sich nicht nur in ihren mechanischen Eigenschaften (Mikrohärte und Elastizitätsmodul) sondern auch in ihren optischen Eigenschaften deutlich voneinander differenzieren.

Im Gegensatz dazu konnten die bei Raumtemperatur abgeschiedenen reibungs- und verschleißmindernden PLD-Hartstoffschichten bereits auf industriell eingesetzten Werkzeugen (z. B. für die Kaltmassivumformung) erfolgreich erprobt werden. Die Herstellung dieser Schichten erfolgte im Falle der DLC-Modellschichten mittels Einquellenverdampfung, bei den TiN_x - und TiO_x -Beschichtungen mittels Mehrquellenverdampfung unter gleichzeitiger Substratbewegung. Letztere Techniken wurden erstmalig in der vorliegenden Arbeit für die Herstellung von PLD-Schichten ausgenutzt und ermöglichen zukünftig die Beschichtung im industriellen Maßstab.

Unter den Bedingungen des verwendeten Pin-on-Disk-Tests mit beschichteten Scheiben (Disk) und DIN 100Cr6-Gegenkörpern (Pin) konnte im Vergleich zu mittels anderer PVD-Verfahren (Sputtern, Ionenstrahlverdampfen) hergestellter Schichten ein vergleichbar exzellentes Eigenschaftspotential bereits bei Raumtemperaturabscheidung erreicht werden. Neben der Senkung der Reibung und des Verschleißes der beschichteten Oberflächen ist gleichermaßen auch eine Verringerung des Verschleißes des unbeschichteten Gegenkörpers im Falle der DLC-Beschichtungen möglich. Dieses optimale tribologische Eigenschaftsspektrum ist neben dem im folgenden kurz umrissenen strukturellen und chemischen Aufbau der PLD-Schichten auch auf deren sehr geringe Anzahl an Schichtdefekten (Droplets, Partikel) und die sehr niedrigen Oberflächenrauigkeiten zurückzuführen. Vor allem die Beeinflussung der Schichtbildung durch einen hochenergetischen Teilchenstrom wirkt sich besonders günstig aus. Dieser erlaubt auch eine sehr gute Beschichtung von senkrecht zur Targetoberfläche angeordneten Funktionsflächen (z. B. Bohrungen oder Kavitäten) des Substrats („off-axis“-Anordnung), wie die Untersuchungsergebnisse der TiN_x - und TiO_x -Schichten zeigen.

Die Schichtoptimierung auf dem Weg zum erreichten tribologischen Eigenschaftsspektrum von „on-axis“- und „off-axis“-Schichten zeigte zudem eine Vielzahl interessanter, bisher noch nicht im Zuge der PLD-Beschichtung beobachteter und beschriebener Zusammenhänge zwischen dem Ionenbeschuss und den Schichteigenschaften auf:

Der Einfluss der kinetischen Energie der schichtbildenden Teilchen konnte bei den Modellschichten im System Ti – O gut beobachtet werden: So führt die Zunahme des Rezipientendruckes infolge der geringeren mittleren freien Weglänge der verdampften Ti-Teilchen aufgrund von Stoßprozessen mit dem Prozessgas zu geringeren Energien der schichtbildenden Teilchen an der Substratoberfläche. Bei gleicher chemischer Zusammensetzung konnte dadurch eine starke Änderung der mechanischen und tribologischen Eigenschaften (z.B.

Reibungsminderung durch Transferlayerbildung auf den weicheren Schichtoberflächen) erreicht werden. Ein bemerkenswertes Ergebnis zeigten auch die Strukturuntersuchungen: Während geringe kinetische Energien der schichtbildenden Teilchen im Falle der „off-axis“-Schichten in Verbindung mit den niedrigen Abscheidetemperaturen (Raumtemperatur) zu einer amorphen Schichtstruktur führten, konnte eine sehr seltene, bisher in Schichtwerkstoffen nicht aufgefundene Modifikation des TiO_2 – sog. monoklines $\beta\text{-TiO}_2$ – hergestellt werden.

Auch bei den TiN-Beschichtungen führte die Änderung der Target-Substrat-Anordnung zu Auswirkungen auf die Schichtstruktur. Liegt bei allen in „on-axis“-Anordnung abgeschiedenen TiN-Schichten eine auf relativ hohe Teilchenenergien hinweisende (110)-Textur vor, führt die „off-axis“-Abscheidung infolge der niedrigeren kinetischen Teilchenenergien zu (111)-Texturierung. Wie auch bei den TiO_x -Modellschichten führte dies infolge niedrigerer Schichthärte zu geringfügig höheren Verschleißraten. Die Charakterisierung der TiN_x -Beschichtungen zeigt zusätzlich den Einfluss von verschiedenen Ar/ N_2 -Gasmischungen bei annähernd konstantem Gesamtgasdruck auf die Schichtstruktur und -härte, den Eigenspannungszustand und deren Auswirkungen auf die tribologische Performance. So können Druckeigenspannungen bis zu 9 GPa festgestellt werden, die zu hohen Schichthärten und ausgezeichnetem Verschleißverhalten führen.

Besonders für den tribologischen Einsatz geeignet erscheinen die DLC-Beschichtungen, die neben extrem niedriger Reibung und Verschleiß der Schichten auch einen um den Faktor 100 verringerten Verschleiß der Gegenkörperoberfläche zeigen. Die Untersuchungen im Zuge der vorliegenden Arbeit zeigen die Möglichkeiten der Änderung der Verschleißperformance von Schicht und Gegenkörper durch die Änderung des chemischen Aufbaus, d.h. des sp^2 / sp^3 -Bindungsverhältnisses, auf. Dieses hängt stark von den Abscheidebedingungen, d.h. dem verwendeten Prozessgas (Ar) bzw. Reaktivgas (C_2H_2), ab. Die Tendenz hin zu geringerem sp^3 -Bindungsanteil beim Übergang von Ar auf C_2H_2 -Rezipientenatmosphäre bei ähnlichem Gesamtgasdruck während der Abscheidung konnte mit einer Härteabnahme und einer Verschleißzunahme der Schichten verknüpft werden. Nicht nur bei den eingangs beschriebenen TiN_x - und TiO_x -Hartstoffschichten war das Interfacedesign an der Grenzfläche zwischen Substrat- und Schichtwerkstoffe von ausschlaggebender Bedeutung. Auch die DLC-Schichten erforderten grundsätzlich aufgrund hoher auftretender Druckspannungen und hoher Sprödigkeit den Einsatz von Ti-Zwischenschichten zur Erzielung hoher Haftfestigkeiten. Diese Zwischenschichten führten aufgrund deren geringer Dicke und der Reaktivität des Ti in den tribologischen Untersuchungen trotz der bei den hohen Flächenpressungen im Reibkontakt von der Substrathärte abhängigen Verschleißmechanismen zu nahezu unabhängigen Reibungs- und Verschleißverhalten aller DLC-Schichten.

Zusammenfassend zeigt sich aus den ausführlich in der vorliegenden Arbeit dargestellten Beispielen von PLD-Schichtsystemen deren exzellente Einsatzmöglichkeit im Bereich von funktionellen optischen und optoelektronischen Beschichtungen und von reibungs- und verschleißmindernden Hartstoffschichten.

6 Literaturzitate

- Agostinelli 2000** Agonstinelli E., Kaciulis S., Vittori-Antisari M.; *Appl. Surf. Sci.* 156 (2000) 143-148
- Alberts 1996** Alberts L., Leutenecker R., Wolf G.K.; *Surf. Coat. Techn.* 84 (1996) 443
- Allmen 1987** Von Allmen M.; in: Mooradian A., Panish M. B. (Hrsg.); *Laser Beam Interactions with Materials*; Springer-Verlag; Berlin; 1987; 198
- Allmen 1987-2** Von Allmen M.; in: Mooradian A., Panish M.B. (Hrsg.); *Laser Beam Interactions with Materials*; Springer-Verlag; Berlin, Heidelberg; 1987; 6
- Altmayer 1985** Altmayer F.; *Plating and Surface Finishing* 72 (1985) 36
- Archard 1953** Archard J.F.; *J. Appl. Phys.* 24 (1953) 981
- Ashcroff 1976** Ashcroff N.W., Mermin N.D.; *Solid State Physics*; Saunders Publishing; Orlando (Florida); 1976
- Aspnes 1982** Aspnes D.E.; *Optical Properties of Thin Films*; Thin Solid Films 65 (1982) 249
- Aspnes 1982-1** Aspnes D.E.; *Thin Solid Films* 89 (1982) 249
- Aspnes 1982-2** Aspnes D.E.; *Am. J. Phys.* 50 (1982) 704
- Auciello 1989** Auciello O., Barnes T., Chevacharoenkul S. et al.; *Thin Solid Films* 181 (1989) 65
- Azzam 1977** Azzam R. M. A., Bashara N. M.; *Ellipsometry and Polarized Light*; North Holland Publishing; Amsterdam; 1977
- Badisch 2003** Badisch E., Fontalvo G.A., Stoiber M., Mitterer C.; *Surf. Coat. Techn.* 163-164 (2003) 585
- Bally 1998** Bally A.R., Hones P., Sanjines R. et al; *Surf. Coat. Techn.* 108-109 (1998) 166

- Balzers 1981** Balzers; *Betriebsanleitung HiFi-Messröhren IMR 110*; Balzers AG; Balzers (FL); 1981
- Balzers 1989** Balzers; *Betriebsanweisung Pirani-Messröhre TPR 010*; Balzers AG; Balzers (FL); 1989
- Banfield 1991** Banfield J., Veblen D., Smith D.; *Am. Mineral.* 76 (1991) 343
- Barna 1992** Barna P. B.; in: Eckertova L., Ruzicka L. (Hrsg.); *Diagnostics and Applications of Thin Films*; IOP Publishing; Bristol; 1992; 295
- Barranco 2002** Barranco A., Yubero F., Espinos J.P. et al.; *Vacuum* 67 (2002) 491
- Bass 1983** Bass M. (Hrsg.); *Laser Materials Processing*; North-Holland; Amsterdam; 1983
- Bäuerle 1986** Bäuerle D.; *Chemical Processing with Lasers*; Berlin; Springer; 1986
- Beck 1992** Beck U., Reiners G., Urban I., Witt K; *Thin Solid Films* 220 (1992) 234
- Ben Amor 2002** Ben Amor S., Guedri L., Baud G. et al.; *Mat. Chem. Phys.* 77 (2002) 903
- Bendavid 1999** Bendavid A., Martin P.J., Jamting A. et al.; *Thin Solid Films* 355-356 (1999) 6
- Benmalek 1991** Benmalek M., Gimenez P., Peyre J.P., Tournier C.; *Surf. Coat. Techn.* 48 (1991) 181
- Bergmann 1993** Bergmann-Schäfer; *Lehrbuch der Experimentalphysik, Band 3: Optik*; De Gruyter; Amsterdam; 1993; 249
- Bergmann 1992** Bergmann-Schäfer; *Lehrbuch der Experimentalphysik, Band 5: Vielteilchensysteme*; De Gruyter; Amsterdam
- Beyer 1985** Beyer E.; *Einfluss des laserinduzierten Plasmas beim Schweißen mit CO₂-Laserstrahlung*; Deutscher Verlag für Schweißtechnik; 1985
- Bhushan 1999** Bhushan B.; *Handbook of Micro/Nanotribology*; 2nd ed.; CRC Press; Boca Raton (Florida); 1999
- Bieli 1991** Bieli A.V., Kheyrandish H., Colligon J.S.; *Thin Solid Films* 200 (1991) 283
- Biunno 1989** Biunno N., Narayan J., Hofmeister S.K. et al.; *Appl. Phys. Lett.* 54 (1989) 1519
- Blumenauer 1994** Blumenauer H.; *Werkstoffprüfung*; Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie; Leipzig, Stuttgart; 1994
- Bock 1984** Bock R.; *Methoden der Analytischen Chemie*; Band 2; Verlag Chemie; Weinheim; 1984
- Bosch 1986** Bosch W.; *Über den Zusammenhang zwischen Wachstumsbedingungen und Eigenschaften verschleißbeständiger, kathodenerstäubter Titanhartstoffe auf Sintermetall* (Grund- und Werkstoffe Nr. 106); VDI-Verlag; Düsseldorf; 1986

Literaturzitate

- Braun 1999** Braun S., Dietsch R., Haidl M. et al.; *Mo/Si-Multilayers for EUV Applications prepared by Pulsed Laser Deposition (PLD)*; Poster des Fraunhofer Instituts für Werkstoff- und Strahltechnik, Dresden
- Bückle 1961** Bückle H.; VDI-Ber. 41 (1961) 14
- Bull 1990** Bull S.J., Rickerby D.S., Jain A.; *Surf. Coat. Techn.* 41 (1990) 269
- Bykovskii 1978** Bykovskii Y.A., Boyakov V.M., Galochkin V.T. et al.; *Soviet Physics – Technical Physics* 23 (1978); 578
- Calleja 1998** Calleja W., Aceves M., Falcony C.; *Electronic Letters* 34 (1998) 1294
- Callister 1997** Callister W.D.; *Materials Science and Engineering: An Introduction*, 4th ed.; John Wiley & Sons, Inc.; New York; Chichester 1997
- Capano 1993** Capano M.A., Qian F., Singh R.K. et al.; *Mater. Res. Soc. Symp. Proc.* 285 (1993) 569
- Carlson 1955** Carlson T. A.; *Photoelectron and Auger Spectroscopy*; Plenum Press; New York; 1955
- Chamberlain 1994** Chamberlain J.P., Clemons J.L., Pounds A.J., Gilles P.H.; *Surface Science* 301 (1994) 105
- Chan 1997** Chan H.L., Ekanayake U., Kumar A. et al.; *Appl. Surf. Sci.* 109/110 (1997) 58
- Chang 1995** Chang I.T.H., Cantor B., Leigh P.A., Dobson P.A.; *Nanostructured Materials* 6 (1995) 835
- Chen 1993** Chen L.C., Hall E.L.; *Mater. Res. Soc. Symp. Proc.* 285 (1993) 519
- Chen 1994** Chen L.-C.; in: Chrisey D. B., Hubler G. K. (Hrsg.); *Pulsed Laser Deposition of Thin Films*; Wiley; New York; 1994; 167
- Chen 2001** Chen C. Ong P.P., Wang H.; *Thin Solid Films* 382 (2001) 275
- Chen 2001-2** Chen Y.M., Yu G.P., Huang J.-H.; *Surf. Coat. Techn.* 141 (2001) 156
- Chen 2002** Chen J.Y., Wang L.P., Fu K.Y.; *Surf. Coat. Techn.* 156 (2002) 289
- Cheng 2001** Cheng C.-L., Chia C.-T., Chiu C.-C.; *Appl. Surf. Sci.* 174 (2001) 251
- Cheung 1988** Cheung J.T., Sankur H.; *CRC Critical Reviews in Solid State and Materials Science* 15 (1988) 63
- Cheung 1994** Cheung J.; in: Chrisey D.B., Hubler G.K. ((Hrsg.)); *Pulsed Laser Deposition of Thin Films*; John Wiley & Sons; New York; 1994; 1
- Chou 1990** Chou T.C.; *J. Appl. Phys.* 67 (1990) 2670
- Choudhury 1996** Choudhury R., Vispute R.D., Jagannadham K. et al.; *J. Mater. Res.* 11 (1996) 1458
- Ciach 1998** Ciach R., Morgiel J., Maziarz W. et al.; *Thin Solid Films* 318 (1998) 154

- Collins 1989** Collins C.B., Davanloo F., Juengermann E.M. et al; *Appl. Phys. Lett.* 54 (1989) 216
- Collins 1991** Collins C.B., Davanloo F., Jander D.R. et al.; *J. Appl. Phys.* 69 (1991) 7862
- Collins 1992** Collins C.B., Davanloo F., Lee T.J. et al.; *Amer. Cer. Soc. Bull.* 71 (1992) 1536
- Collins 1993-1** Collins C.B., Davanloo F., Lee T.J. et al.; *Mater. Res. Soc. Symp. Proc.* 285 (1993) 547
- Collins 1993-2** Collins C.B., Davanloo F., Lee T.J. et al.; *J. Vac. Sci. Techn. B* 11 (1993) 1936
- Craciun 1999** Craciun V., Craciun D., Ghica C. et al.; *Appl. Surf. Sci.* 138-139 (1999) 593
- Cuomo 1991** Cuomo J.J., Pappas D.L., Bruley J. et al.; *J. Appl. Phys.* 70 (1991) 1706
- Czichos 1992** Czichos H., Habig K.-H.; *Tribologie-Handbuch*; Vieweg-Verlag; Braunschweig; 1992
- Dausinger 1993** Dausinger F., Shen F.; *ISIJ International* 33 (1993) 925
- Dausinger 1995** Dausinger F.; *Laser und Optotechnik* 27 (1995) 907
- Davanloo 1990-1** Davanloo F., Juengermann E.M., Jander D.R. et al.; *J. Mater. Res.* 5 (1990) 2398
- Davanloo 1990-2** Davanloo F., Juengermann E.M., Jander D.R. et al.; *J. Appl. Phys.* 66 (1990) 2081
- Davanloo 1993** Davanloo F., Lee T.J., You J.H. et al.; *Surf. Coat. Techn.* 62 (1993) 564
- De Giorgi 2000** De Giorgi M.L., Fernandez M., Leggeri G. et al.; in: Vlad V. I. (Hrsg.); *Proc. SPIE Vol. 4430* (2001) 186
- De Graef 2003** De Graef M.; *Introduction to Conventional Transmission Electron Microscopy*; Cambridge University Press; Cambridge 2003
- Dehan 1995** Dehan E., Temple-Boyer P., Henda R.; *Thin Solid Films* 266 (1995) 14
- Diaz 1992** Diaz J., Gago J.A.M., Ferrer S. et al.; *Diam. rel. Mater.* 1 (1992) 824
- Diaz 1993** Diaz J., Ferrer S., Comin F.; in: Miller J.C., Geohegan D.B. (Hrsg.); *Proc. 2nd Int. Conf. Laser Ablation: Mechanisms and Applications - II*; Knoxville, TN; 1993, AIP Press, New York; 1993; 198
- Diaz 1996** Diaz J., Paolicelli G., Ferrer S. et al.; *Phys. Rev. B* 54 (1996) 8064
- Digital Instruments 1998** Digital Instruments; *Scanning Probe Microscopy - Training Notebook*; Santa Barbara; 1998
- DIN 50021** DIN 50021; *Korrosionsprüfungen – Sprühnebelprüfungen mit verschiedenen Natriumchloridlösungen*; Beuth-Verlag; Berlin; 1988

- DIN 50281** DIN 50281; in: *Materialprüfnormen für metallische Werkstoffe; Band 2*; Beuth-Verlag; Berlin; 1983; 34
- DIN 50320** DIN 50320; in: *Materialprüfnormen für metallische Werkstoffe; Band 2*; Beuth-Verlag; Berlin; 1983; 39
- Dinescu 1999** Dinescu M., Stanciu C., Ghica D. et al.; *Sensors and Actuators 74* (1999) 27
- Doerner 1986** Doerner M.F., Nix. W.D.; *J. Mat. Res. 1* (1986) 601
- Donley 1994** Donley M.S., Zabinski J.S.; in: Chrisey D.B., Hubler G.K. (Hrsg.); *Pulsed Laser Deposition of Thin Films*; John Wiley & Sons; New York; 1994; 431
- Drinek 2001** Drinek V, Pola J., Bastl Z.; *J. Non-Cryst. Solids 288* (2001) 30
- Dupendant 1989** Dupendant H., Gavigan J.P., Givord D. et al.; *Appl. Surf. Sci. 43* (1989) 369
- Ebersbach 1995** Ebersbach G., Fabian D., Jehn H.A., Rother B.; *Surf. Coat. Techn. 74-75* (1995) 654
- Ebihara 2001** Ebihara K., Namiya T.; *Diam. Relat. Mater. 10* (2001) 900
- Ebner 1995** Ebner R.; *Laserstrahlschweißen von Massivbauteilen – Konstruktion, Materialauswahl, Fertigung, Qualitätssicherung, Bauteilprüfung, Verbindungseigenschaften*; Habilitation an der Montanuniversität Leoben; Leoben; 1995
- Ebner 2001** Ebner R., Waldhauser W., Lenz W.; *Pulsed Laser Deposition: A new Method for Coating Sheet Materials and three-dimensional industrial Components*; Proc. MaterialsWeek 2001; München
- Eddy 1991** Eddy M.; *Mat. Res. Soc. Proc. 54* (1991) 1452
- Edwards 1990** Edwards D. F.; *Silicon (Si) (Polycrystalline)*; in: Palik E.D. (Hrsg.); *Handbook of Optical Constants of Solids*; Academic Press; Boston; 1990; 547
- Egert 1983** Egert B., Panzner G.; in: Grabke H.J.; *Oberflächenanalytik in der Metallkunde*; Deutsche Gesellschaft für Metallkunde e.V.; Oberursel; 1983; 125
- Eichler 1987** Eichler H. J.; in: Gobrecht H. (Hrsg.); *Bergmann Schaefer – Lehrbuch der Experimentalphysik – Band 3: Optik*; Walter de Gruyter; Berlin; 1987
- Eigenmann 1990** Eigenmann B.; *Röntgenographische Analyse inhomogener Spannungszustände in Keramiken, Keramik-Metall-Fügeverbindungen und dünnen Schichten*; Dissertation an der Universität Karlsruhe; 1990
- Elmikov 1996** Elmikov A.; *J. Luminescence 70* (1996) 1
- Englisch 1985** Englisch W., Baumert R.; in: Bartz W. J. (Hrsg.); *Laser in Industrie und Technik*; Expert-Verlag; Sindelfingen; 1985; 45
- Ensinger 1994** Ensinger W.; *Surf. Coat. Techn. 65* (1994) 90

Literaturzitate

- Ensinger 1997** Ensinger W.; *Nucl. Instr. Meth. Phys. Res. B.* 127-128 (1997) 796
- Erdemir 1999** Erdemir A., Nilufer I.B., Eryilmaz O.L.; *Surf. Coat. Techn.* 120-121 (1999) 589
- Erington 1990** Erington K.B., Ianno N.J.; *Mat. Res. Soc. Proc.* 191 (1990) 115
- Evans 1991** Evans A.C., Franks J., Revell P.J.; *Surf. Coat. Techn.* 47 (1991) 662
- Falbe 1999** Falbe J. (Ed.); *Römpp – Lexikon Chemie*, Band 5; Thieme-Verlag; Stuttgart; 1999
- Fischer 1998** Fischer K.; *Gradienten der Struktur- und Gefügeparameter in TiN-Hartstoffschichten*; Dissertation an der TU Bergakademie Freiberg; 1998
- Fogarassy 1992** Fogarassy E., Slaoui A., Fuchs C. et al.; *Appl. Surf. Sci.* 54 (1992) 180
- Föhl 1986** Föhl J.; in zum Gahr K. (Hrsg.); *Reibung und Verschleiß bei metallischen und nichtmetallischen Werkstoffen*; Deutsche Gesellschaft für Metallkunde e.V.; Oberursel; 1986; 23
- Foltyn 1994** Foltyn S. R.; in: Chrisey D. B., Hubler G. K. (Hrsg.); *Pulsed Laser Deposition of Thin Films*; Wiley; New York; 1994; 89-114
- Fontalvo 2001** Fontalvo G.; Diplomarbeit an der Montanuniversität Leoben; 2001
- Fork 1994** Fork D.K.; in: Chrisey D.B., Hubler G.K. (Hrsg.); *Pulsed Laser Deposition of Thin Films*; John Wiley & Sons; New York; 1994; 393
- Franklin 1992** Franklin S.E., Beuger J.; *Surf. Coat. Techn.* 54-55 (1992) 459
- Franks 1990** Ranks J., Enke K., Richardt A.; *Metals and Materials* 11 (1990) 695
- Frauenhofer 1999** Frauenhofer Institut für Werkstoff- und Strahltechnik; *Herstellung von Mo/Si-Röntgenspiegel mittels PLD*; in: Jahresbericht 1999; Frauenhofer Institut für Werkstoff- und Strahltechnik; Dresden; 32
- Freller 1993** Freller H.; in: Kunst H. (Hrsg.); *Verschleißhemmende Schichten*; Expert Verlag; Ehningen bei Böhlingen; 1993; 77
- Frey 1987** Frey, F.H., Kienel, G.: *Dünnschichttechnologie*; VDI-Verlag; Düsseldorf; 1987
- Frey 1995** Frey H. (Hrsg.); *Vakuumbeschichtung, Band 1: Plasmaphysik, Plasmediagnostik, Analytik*; VDI-Verlag; Düsseldorf; 1995
- Friede 1996** Friede B., Jansen M.; *J. Non-cryst. Solids* 204 (1996) 202
- Ganapathi 1993-1** Ganapathi L., Giles S., Rao R.; *Mater. Res. Soc. Symp. Proc.* 285 (1993) 563
- Ganapathi 1993-2** Ganapathi L., Giles S., Rao R.; *Appl. Phys. Lett.* 63 (1993) 993
- Gardos 1989** Gardos M.N.; *Mat. Res. Soc. Symp. Proc.* 140 (1989) 325

- Geohegan 1994** Geohegan D.B.; in: Chrisey D. B., Hubler G. K. (Hrsg.); *Pulsed Laser Deposition of Thin Films*; Wiley; New York; 1994; 115-166
- Gergaud 1994** Gergaud P., Bacmann J.J., Lebrun J.L.; *Proc. of 4th Intern. Conf. on Residual Stresses*; Baltimore 1994; 1123
- Germain 1993** Germain C., Girault C., Gisbert R. et al. in: Miller J.C., Geohegan D.B. (Hrsg.); *Proc. 2nd Int. Conf. Laser Ablation: Mechanisms and Applications-II*; Knoxville, TN; 1993, AIP Press, New York; 1993; 183
- Germain 1995** Germain C., Girault C., Aubreton J. et al.; *Diam. Rel. Mater.* 4 (1995) 309
- Giardini 1998** Giardini-Guidoni A., Marotta V. Teghil R. et al.; *Surf. Coat. Techn.* 100-101 (1998) 437
- Gilmore 2000** Gilmore R., Hauert R.; *Surf. Coat. Techn.* 133-134 (2000) 437
- Glocker 1971** Glocker R.; *Materialprüfung mit Röntgenstrahlen*; Springer-Verlag; Berlin, Heidelberg, New York; 1971
- Gmelin 1951** *Gmelins Handbuch der anorganischen Chemie*, Band Nr. 41: Titan; Verlag Chemie; Weinheim; 1951
- Gmelin 1959** *Gmelins Handbuch der anorganische Chemie*, Band 15 (Silizium); Verlag Chemie; Weinheim; 1959
- Gosh 1992** Gosh S.K., Kohler M.S.; *Surf. Coat. Techn.* 54-55 (1992) 466
- Gottstein 1998** Gottstein G.; *Physikalische Grundlagen der Materialkunde*; Springer; Berlin; 1998
- Grabke 1983** Grabke H.J.; in: Grabke H.J. (Hrsg.); *Oberflächenanalytik in der Metallkunde*; Deutsche Gesellschaft für Metallkunde e.V.; Oberursel; 1983; 183
- Green 1994** Green S.M., Pique A., Harshavardhan K.S. et al.; in: Chrisey D. B., Hubler G. K. (Hrsg.); *Pulsed Laser Deposition of Thin Films*; Wiley; New York; 1994; 23
- Greene 1993** Greene J. E.; in: Hurle D. T. J. (Hrsg.); *Handbook of Crystal Growth*, Vol. 1; Elsevier; Amsterdam; 1993; 640
- Greer 1989** Greer J.A.; in: Kwok H.S., Kao Y., Shaw D. (Hrsg.); *Superconductivity and Applications*; Plenum Press; New York; 117
- Greer 1994** Greer J.A.; in: Chrisey D. B., Hubler G. K. (Hrsg.); *Pulsed Laser Deposition of Thin Films*; Wiley; New York; 1994; 293
- Greer 1995** Greer J.A.; *Final Report*; USAF Contract # F3615-95-C-5820; 1995
- Grill 1997** Grill A.; *Surf. Coat. Techn.* 94-95 (1997) 507
- Grill 1999** Grill A.; *Diamond Relat. Mater.* 8 (1999) 428
- Grundner 1986** Grundner M., Jacob H.; *J. Appl. Phys.* A 39 (1986) 73

- Gu 1998** Gu H.D., Leung K.M., Chung C.Y. et al.; *Surf. Coat. Technol.* 110 (1998) 153
- Gugau 1990** Gugau M., Hirth F. W., Speckhardt H.; *Galvanotechnik* 81 (1990) 434
- Haarer 1995** Haarer D., Spiess H.; *Spektroskopie amorpher und kristalliner Festkörper*; Verlag Steinkopf; Darmstadt; 1995
- Haefer 1987** Haefer R. A.; *Oberflächen- und Dünnschichttechnologie, Teil 1: Beschichten von Oberflächen*; Springer; Berlin; 1987
- Haefer 1991** Haefer R. A.; in: Haefer R. A. (Hrsg.); *Oberflächen- und Dünnschichttechnologie, Teil 2*; Springer; Berlin; 1991; 25
- Hanabusa 1993** Hanabusa M.; *Mat. Res. Soc. Symp. Proc.* 285 (1993) 447
- Hanabusa 1997** Hanabusa M., Liu Z., Nakamura N. et al.; *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B* 121 (1997) 367
- He 1999** He X.M., Walter K.C., Nastasi M.; *Thin Solid Films* 355-356 (1999) 167
- He 2003** He L.-N., Xu J.; *Vacuum* 68 (2003) 197
- Henzler 1991** Henzler M, Göpel W.; *Oberflächenphysik des Festkörpers*; Teubner-Verlag; Stuttgart; 1991
- Hillebrecht 1992** Hillebrecht F. U., Kisker E.; in: Raith W. (Hrsg.); *Bergmann-Schaefer, Lehrbuch der Experimentalphysik – Festkörper*; Walter de Gruyter; Berlin; 1992; 213
- Hofer 1995** Hofer F., Warbichler P., Grogger W.; *Ultramicroscopy* 59 (1995) 15
- Hoffmann 1997** Hoffmann B.; *Statik und Dynamik magnetischer Wechselwirkungen in der Kraftmikroskopie*; Diplomarbeit an der Universität des Saarlandes; Saarbrücken; 1997
- Holleck 1984** Holleck H.; *Binäre und ternäre Carbid- und Nitridsysteme der Übergangsmetalle*; Gebrüder Bornträger; Berlin; 1984
- Hollemann 1995** Hollemann A.F., Wiberg E.; *Lehrbuch der Anorganischen Chemie*; Walter de Gruyter; Berlin; 1995
- Holm 1946** Holm R.; *Electric Contacts*; Hugo Gers Förlag; Stockholm; 1946
- Holmberg 1994** Holmberg K., Matthews A.; *Coatings-Tribology*; Elsevier; Amsterdam; 1994
- Holmberg 1998** Holmberg K., Matthews A., Ronkainen H.; *Tribology Int.* 31 (1998) 107
- Hor 2000** Hor K.K.; *Carbon Film Deposition using pulsed high Power Nd:YAG Laser*; Bachelor-Thesis; Nanyang Technological University (South Korea); 2000
- Horwitz 1994** Horwitz J. S., Sprague J. A.; in: Chrisey D. B., Hubler G. K. (Hrsg.); *Pulsed Laser Deposition of Thin Films*; Wiley; New York; 1994; 229
- Huai 1994** Huai Y., Chaker M., Broughton J.N. et al.; *Appl. Phys. Lett.* 65 (1994) 830

- Huang 1985** Huang T. C., Lim G., Parmigiani F. et al.; *J. Vac. Sci. Techn. A* 3 (1985) 2161
- Huang 1999** Huang J.-H.; Tsai Y.-P.; Yu G.-P.; *Thin Solid Films* 355-356 (1999) 440
- Huber 2002** Huber P., Manova D., Mändl S., Rauschenbach B., *Surf. Coat. Techn.* 156 (2002) 176
- Hubler 1994** Hubler G. K.; in: Chrisey D. B., Hubler G. K. (Hrsg.); *Pulsed Laser Deposition of Thin Films*; Wiley; New York; 1994; 327
- Hudson 1996** Hudson C., Somekh R. E.; *J. Vac. Sci. Techn. A* 14 (1996) 2169
- Hügel 1992** Hügel H.; *Strahlwerkzeug Laser: Eine Einführung*; Teubner; Stuttgart; 1992
- Hummel 1971** Hummel R. E.; *Optische Eigenschaften von Metallen und Legierungen*; Springer; Berlin; 1971
- Hysitron 1996** *Hysitron Nanomechanical Testing System*; Santa Barbara (CA); 1987
- Ijsselsteijn 1992** Ijsselsteijn R.P.J., Blank D.H.A., Out P.G. et al.; in: L. Corraera L. (Hrsg.); *High T_c Superconductor Thin Films*; Elsevier; Amsterdam; 1992; 251
- Inoue 2002** Inoue N. Yuasa H., Okoshi M.; *Appl. Surf. Sci.* 197-198 (2002) 393
- Inumaru 2000** Inumaru K., Ohara T., Yamanaka S.; *Appl. Surf. Sci.* 158 (2000) 375
- Itina 1998** Itina T.E., Katassonov A.A., Marine W. et al.; *J. Appl. Phys.* 83 (1998) 6050
- Ivanda 1999** Ivanda M., Gamulin O., Kiefer W.; *J. Molecular Structure* 480-481 (1999) 651
- Jackson 1998** Jackson B.D., Herman P.R.; *Appl. Surf. Sci.* 127-129 (1998) 595
- Jain 1988** Jain A.K.; in: Krishnan R., Ananthraman T.R., Pande C.S. et al. (Hrsg.); *Advanced Techniques for microstructural Characterization*; Trans. Tech. Publications; Aedermannsdorf; 1989; 143
- JCPDS 1992** *Powder Diffraction File*; JCPDS International Center for Diffraction Data; Swarthmore; 1992
- Jehn 1985** Jehn H.A., Kopacz U.; in: Ortner H.M., Bildstein H. (Hrsg.); *Proc. 11th Int. Plansee Seminar*; Reutte; 1985; 737
- Jehn 1987** Jehn H.; in: Fischmeister H., Jehn H.; *Hartstoffschichten zur Verschleißminderung*; Deutsche Gesellschaft für Metallkunde e. V.; Oberursel; 1987
- Jehn 1992** Jehn H. A.; in: Gissler W., Jehn H. A. (Hrsg.); *Advanced Techniques for Surface Engineering*; Kluwer Academic Publishers; Dordrecht; 1992; 5
- Jehn 1993** Jehn H., Reiners G., Siegel N.; in DIN Deutsches Institut für Normung e.V. (ed.); *Charakterisierung dünner Schichten*; DIN-Fachbericht 39; Beuth-Verlag GmbH; Berlin, Wien, Zürich; 1993
- Jelinek 1994** Jelinek M., Olsan V., Soukup L. et al.; *Diam. Rel. Mater.* 3 (1994) 1128

- Jiang 1997** Jiang J., Arnell R.D., Tong J.; *Wear* 211 (1997) 254
- Jiang 1998** Jiang J., Arnell R.D.; *Wear* 217 (1998) 190
- Johs 1999** Johs B., Woollam J., Herzinger C. et al.; *Critical Reviews of Optical Science and Technology CR 72* (1999) 29
- Jones 2000** Jones M.I., McColl I.R., Grant D.M.; *Surf. Coat. Technol.* 132 (2000) 143
- Kabashin 2000** Kabshin A.V., Charbonneau-Lefort M., Meunier M. et al.; *Appl. Surf. Sci.* 168 (2000); 328
- Kaesche 1979** Kaesche H.; *Die Korrosion der Metalle – Physikalisch-chemische Prinzipien und aktuelle Probleme*; Springer-Verlag; Berlin, Heidelberg, New York; 1979; 241
- Kaganovich 1999** Kaganovich E.B.; Kudryavtsev A.A., Manilov E.G. et al.; *Thin Solid Films* 349 (1999) 298
- Karpmann 1994** Karpmann J., Riabkina-Fishman M., Zahavi J. et al.; *Diam. Rel. Mater.* 4 (1994) 10
- Keijser 1982** Keijser Th.H., Langford J.I., Mettemeijer E.J. et al.; *J. Appl. Cryst.* 15 (1982) 308
- Kelly 1994** Kelly R., Miotello A.; in: Chrisey D. B., Hubler G. K. (Hrsg.); *Pulsed Laser Deposition of Thin Films*; Wiley; New York; 1994; 55
- Kennedy 1992** Kennedy R.J.; *Thin Solid Films* 214 (1992) 223
- Kheyrandish 1994** Kheyrandish H., Colligon J.S., Kim J.-K.; *J. Vac. Sci. Techn. A* 12 (1995) 2723
- Kieffer 1968** Kieffer R., Benesovsky F.; *Hartstoffe*; Springer-Verlag; Wien; 1968
- Kim 1996** Kim M.T.; *Thin Solid Films* 283 (1996) 15
- Kim 1998** Kim D.-E., Lee S.-M., Jeon I.-J.; *Appl. Surf. Sci.* 127-129 (1998) 531
- Kingery 1976** Kingery W. D., Bowen H. K., Uhlmann D. R.; *Introduction to Ceramics*; 2nd Edition; Wiley; New York; 1976
- Kinoshita 1994** Kinoshita K., Ishibashi H., Kobayashi T.; *Jap. J. Appl. Phys.* 33 (1994) L417
- Kirschner 1987** Kirschner H.; *Einführung in die Röntgen-Feinstruktur-Analyse*; Vieweg-Verlag; Berlin; 1987
- Kleber 1990** Kleber W., Bausch H.-H., Bohm J., Kleber I.; *Einführung in die Kristallographie*; Verlag Technik GmbH; Berlin; 1990
- Klug 1974** Klug H.P., Alexander L.E.; *Diffraction Procedures for polycrystalline and amorphous Materials*; Wiley; New York; 1974
- Knorr 1994** Knorr D.B., Szpunar J.A.; *Journal of Metals* 46 (1994) 42

- Knotek 1991** Knotek O., Elsing R., Krämer G., Jungblut F.; *Surf. Coat Techn.* 46 (1991) 265
- Knotek 1992** Knotek O., Löffner F., Weitkamp K.; *Surf. Coat. Techn.* 54/55 (1992) 536
- Koivusaari 2000** Koivusaari J.; *Structural, mechanical and electronic Properties of Pulsed Laser Deposited Carbon Thin Films and C-Si-Heterojunctions*; PhD thesis; University of Oulu (Finland); 2000
- Konuma 1992** Konuma M.; in: Lotsch H. K. V. (Hrsg.); *Film Deposition by Plasma Techniques*; Springer; Berlin; 1992; 13
- Kools 1992** Kools J.C.S., Nillesen J.C.M., Brongersma S.H. et al.; *J. Vac. Sci. Techn. A* 10 (1992) 1809
- Koshizaki 1998** Koshizaki N., Umehara H., Oyama T.; *Thin Solid Films* 325 (1998) 130
- Koshizaki 2002** Koshizaki N., Narazaki A., Sasaki T.; *Appl. Surf. Sci.* 197-198 (2002) 624
- Kreutz 1990** Kreutz E. W., Krösche M., Sung H. et al. (Hrsg.); *Dünnschichttechnologien '90*, Band 2; VDI-Verlag; Düsseldorf; 1990
- Kreutz 1995** Kreutz E.W., Alunovic M., Klotzbücher T. et al.; *Surf. Coat. Techn.* 74-75 (1995) 1012
- Krishnaswanmy 1989** Krishnaswamy J., Regan A., Narayan J. et al.; *Appl. Phys. Lett.* 54 (1989) 2455
- Kunze 2001** Kunze E.; *Korrosion und Korrosionsschutz, Band 1: Einführung und wissenschaftliche Grundlagen*; Wiley-VCH; Berlin; 2001
- Kuzmany 1989** Kuzmany H.; *Festkörper-Spektroskopie – Eine Einführung*; Springer-Verlag; Berlin, Heidelberg; 1989
- Lackner, Fleischanderl 2002** Lackner J.M., Fleischanderl M.; *Grundlagenuntersuchungen zur Herstellung dünner anorganischer, nichtmetallischer und metallischer Zwischenschichten*; Abschlußbericht zum Projekt S2 (Werkstoffkompetenzzentrum Leoben und voestalpine Linz); Leoben, Linz; 2002
- Langford 1978** Langford J.I.; *J. Appl. Cryst.* 11 (1978) 10
- Lapastolle 2000** Lapastolee F., Billard A., von Stebut J.; *Surf. Coat. Techn.* 135 (2000) 1
- Lenz 1997** Lenz W.; *Laserunterstützte Beschichtungstechnologie*; Dissertation an der Montanuniversität Leoben; 1997
- Leppävuori 1993** Leppävuori S., Levoska J.; Vaara J. et al.; *Mat. Res. Soc. Symp. Proc.* 285 (1993) 557
- Levoska 1999** Levoska J., Tyunina M., Leppävuori S.; *Nanostructured Materials* 12 (1999) 101
- Lifshitz 1996** Lifshitz Y.; *Diam. Relat. Mater.* 5 (1996) 388
- Liu 1996** Liu Y., Erdemir A., Meletis E.I.; *Surf. Coat. Techn.* 82 (1996) 48

- Liu 1997** Liu Y., Erdemir A., Meletis E.I.; *Surf. Coat. Techn.* 94-95 (1997) 463
- Liu 1999** Liu H., Tanaka A., Kumagai T.; *Thin Solid Films* 352 (1999) 145
- Lowndes 1990** Lowndes D.H., Norton D.P., McCamy J.W. et al.; *Mat. Res. Soc. Symp. Proc.* 169 (1990) 431
- Lowndes 1998** Lowndes D.H., Rouleau C.M., Thundat T.; *Appl. Surf. Sci.* 127-129 (1998) 355
- Lunney 1995** Lunney J.G.; *Appl. Surf. Sci.* 86 (1995) 70
- Lüth 1995** Lüth H.; *Surfaces and Interfaces of Solid Materials*; Springer-Verlag; Berlin, Heidelberg, New York; 1995
- Lyman 1973** Lyman T., Boyer H.E., Carnes W.J., Chevalier M.W.; *Metals Handbook, Vol. 8, Metallography, Structures and Phase Diagrams*; ASM International; Materials Park; Ohio; 1973
- Malshe 1989** Malshe A.P., Chaudhari S.M., Kanetkar S.M. et al.; *J. Mater. Res.* 8 (1989) 1238
- Malshe 1990** Malshe A.P., Kanetkar S.M., Ogale S.B. et al.; *J. Appl. Phys.* 68 (1990) 5648
- Marchand 1980** Marchand R., Brohan L., Tournoux M.; *Mater. Res. Bull.* 15 (1980) 1129
- Marine 1990** Marine W., Scotto D'Aniello J.M., Marfaing J.; *Appl. Surf. Sci.* 46 (1990) 239
- Marine 1996** Marine W., Movtchan I., Simakine A. et al.; *Mat. Res. Soc. Symp. Proc. Vol.* 397 (1996) 365
- Marquardt 1985** *Marquardt C.L., Williams R.T., Nagel D.J.*; *Mater. Res. Soc. Symp. Proc. Vol. 38 (1985)* 325
- Martin 1990** Martin J.A., Vazquez L., Bernhard P. et al.; *Appl. Phys. Lett.* 57 (1990) 1742
- Martin-Cago 1992** Martin-Cago J.A., Vazquez L., Bernhard P. et al.; *Mater. Sci. Eng. B* 11 (1992) 337
- Massalski 1990** Massalski T.B.; *Binary Alloy Phase Diagrams*; ASM Handbook; ASM International; Metals Park (Ohio); 1990
- Mattox 1965** Mattox D. M.; *Interface Formation and the Adhesion of deposited Thin Films*; Sandia Corporation Monograph R 65 852; Albuquerque; 1965; 1
- Mattox 1973** Mattox D. M.; *Thin Solid Films* 18 (1973) 173
- Mattox 1994** Mattox D. M.; in: *ASM Handbook Vol. 5 – Surface Engineering*; ASM – International Society for Metals; Materials Park, Ohio; 1994; 538
- Mayrhofer 2001** Mayrhofer P.H., Tischler G., Mitterer C.; *Surf. Coat. Techn.* 142-144 (2001) 78
- Mayrhofer 2002** Mayrhofer P.H., Kunc F., Musil J., Mitterer C.; *Thin Solid Films* 415 (2002) 151

- McColm 1990** McColm I.J.; *Ceramic hardness*; Plenum Press; New York; 1990
- Meng 1995** Meng W.J., Eesley G.L.; *Thin Solid Films* 271 (1995) 108
- Merel 1998** Merel P., Tabbal M., Chaker M. et al.; *Appl. Surf. Sci.* 136 (1998) 105
- Messier 1984** Messier R., Giri A. P., Roy R. A.; *Journal of Vacuum Science and Technology A* 2 (1984) 500
- Metev 1994** Metev S.; in: Chrisey D. B., Hubler G. K. (Hrsg.); *Pulsed Laser Deposition of Thin Films*; Wiley; New York; 1994; 255
- Metev 1998** Metev S. M., Veiko V. P.; in: Metev S. M., Veiko V. P. (Hrsg.); *Laser-assisted Microtechnology*; 2nd Edition; Springer; Berlin; 1998; 228
- Microspec 1989** Microspec; *User Manual WDX-3PC Wavelength dispersive X-ray spectroscopy system*; Fermont; 1989
- Mihailescu 1993** Mihailescu I.N., Chitica N., Teodorescu V.S. et al.; *J. Vac. Sci. Technol. A* 11 (1993) 2577
- Milita 1996** Milita S., Servidori M.; *J. Appl. Phys.* 79 (1996) 8278
- Min 1997** Min K., Hofmann S., Shimizu R.; *Thin Solid Films* 295 (1997)
- Misra 1991** Misra D.S., Palmer S. B.; *Physica C* 176 (1991) 43
- Miyahara 1999** Miyahara K., Nagashima N., Ohmura T. et al.; *Nanostructured Materials* 12 (1999) 1049
- Miyoshi 1992** Miyoshi K., Wu R.L.C., Garscadden A.; *Surf. Coat. Techn.* 54/55 (1992) 428
- Moret 2000** Moret M.P., Zallen R., Vijay D.P. et al.; *Thin Solid Films* 366 (2000) 8
- Moss 1973** Moss T. S., Burrell G. J., Ellis B.; *Semiconductor Opto-Electronics*; Butterworth & Co. Ltd; London; 1973
- Movchan 1969** Movchan B. A., Demchishin A. V.; *Physics of Metals and Metallography* 28 (1969) 83
- Muenchhausen 1994** Muenchhausen, R.E., Wu X.D.; in: Chrisey D.B., Hubler G.K. (Eds.); *Pulsed Laser Deposition of Thin Films*; John Wiley & Sons; New York; 1994; 357
- Müller 1993** Müller F., Mann K.; *Diamond Rel. Mater.* 2 (1993) 233
- Müller 1997** Müller T.; *Charakterisierung von TiN_x, TiO_x und Ti PLD-Schichten*; Diplomarbeit an der Montanuniversität Leoben; Leoben; 1997
- Narayan 1992** Narayan J., Tiwari P., Chen X. et al.; *Appl. Phys. Lett.* 61 (1992) 1290
- Neidhardt 1990** Neidhardt A.; *Vergleich verschiedener Kohlenstoff-angereicherter TiN und TiAlN basierender Schichten hinsichtlich Struktur und Eigenschaften*; Dissertation TH Zwickau; 1990
- Nieuwenhuizen 1966** Nieuwenhuizen J.M., Haanstra H.B.; *Philips Technical Review* 27 (1966) 87

- NIST 1992** NIST; *X-ray Photoelectron Spectroscopy Database*; National Institute for Standards and Technology; Washington (DC); 1992
- Nitzsche 1996** Nitzsche K.; *Schichtmesstechnik*; Vogel-Buchverlag; Würzburg 1996
- Nix 1988** Nix W.D.; *Metallurg. Trans. A* 20 (1988) 2217
- Okubo 2002** Okubo N., Nakazawa T., Katano Y. et al.; *Appl. Surf. Sci.* 197-198 (2001) 679
- Oliver 1992** Oliver W.C., Pharr G.M.; *J. Mater. Res.* 7 (1992) 1564
- Omicron 2001** *Omicron EA125 Energy Analyser User's Guide, Version 2.0*; Omicron GmbH; Traunusstein (D); 2001
- Ong 1995** Ong C.W., Zhao X.-A., Cheung J.T. et al.; *Thin Solid Films* 258 (1995) 34
- Pappas 1992** Pappas D.L., Saenger K.L., Bruley J. et al.; *J. Appl. Phys.* 71 (1992) 5675
- Pashley 1964** Pashley D. W., Stowell M. J., Jacobs M. H. et al.; *Philosophical Magazine* 10 (1964) 127
- Pauling 1969** Pauling L.; *Chemie – Eine Einführung*, 8. Auflage; Verlag Chemie; Berkely, CA; 1969
- Pelleg 1991** Pelleg J., Zevin L.Z., Lungo S. et al.; *Thin Solid Films* 197 (1991) 117
- Peschko 1981** Peschko W.; *Abtragung fester Targets durch Laserstrahlung*; Dissertation TH Darmstadt; 1981
- Petrov 1989** Petrov I., Hultman L., Helmersson U., Sundgren J.-E., Greene J.E.; *Thin Solid Films* 169 (1989) 299
- Phani 2001** Phani A.R., Krzanowski J.E.; *Appl. Surf. Sci.* 174 (2001) 132
- Philipp 1990-1** Philipp H.R.; *Silicon Dioxide (SiO₂) (Glass)*; in: Palik E.D. (Hrsg.); *Handbook of Optical Constants of Solids*; Academic Press; Boston; 1990; 749
- Philipp 1990-2** Philipp H.R.; *Silicon Monoxide (SiO) (Noncrystalline)*; in: Palik E.D. (Hrsg.); *Handbook of Optical Constants of Solids*; Academic Press; Boston; 1990; 765
- Pigors 1993** Pigors O.; *Werkstoffe in der Tribotechnik*; Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie; Leipzig; 1993
- Piller 1990** Piller H.; *Silicon (Amorphous) (a-Si)*; in: Palik E.D. (Hrsg.); *Handbook of Optical Constants of Solids*; Academic Press; Boston; 1990; 571
- Piplits 1997** Piplits K., Tomischko W., Brunner C., Hutter H., *Proc. 10th Int. Conf. Sec. Mass Spectr. SIMS 10* (1997) 1007
- Podgornik 2002** Podgornik B., Vizintin J.; *Surf. Coat. Techn.* 157 (2002) 257
- Pohl 1976** Pohl R. W.; *Optik und Atomphysik*; Springer; Berlin; 1976

- Poprawe 1984** Poprawe R.; *Materialabtragung und Plasmaformation im Strahlungsfeld von UV-Lasern*; Dissertation TH Darmstadt; 1984
- Psyllaki 2000** Psyllaki P.P., Jeandin M., Pantelis D.I.; *Surf. Coat. Techn.* 130 (2000) 297
- Pugh 1988** Pugh E.N.; in: Atkinson R. C., Herrnstein R. J., Lindzey G., Luce R. D. (eds.); *Stevens' handbook of experimental psychology, Vol. 1*; Wiley; New York; 75
- Pulker 1981** Pulker H. K., Perry A. J.; *Surf. Techn.* 14 (1981) 25
- Pulker 1985** Pulker H. K.; in: Pulker H. K.; *Verschleißschutzschichten unter Anwendung der CVD / PVD-Verfahren*; Expert-Verlag; Sindelfingen; 1985; 16
- Rahman 1998** Rahman F., Gallagher B.L., Behet M., Boeck J.D.; *Appl. Phys. Lett.* 73 (1998) 88
- Raman 1928** Raman C. V. et al.; *Nature* 121 (1928) 501, 619, 711
- Reichelt 1990** Reichelt K., Jiang X.; *Thin Solid Films* 191 (1990) 91
- Reiner 1973** Reiner L, Pfefferkorn G.; *Rasterelektronenmikroskopie*; Springer-Verlag; Berlin; 1973
- Reiners 1994** Reiners G., Beck U., Jehn H. A.; *Thin Solid Films* 253 (1994) 33
- Remy 1970** Remy H.; *Lehrbuch der anorganischen Chemie, Band 1*; 13. Auflage; Akademische Verlagsgemeinschaft; Leipzig 1970
- Richter 2000** Richter J., Hutchings I.M., Clyne T.W.; *Mater. Charact.* 45 (2000) 233
- Rickerby 1987** Rickerby D.S., Bellamy B.A., Jones A.M.; *Surf. Engin.* 3 (1987) 138
- Rickerby 1987-2** Rickerby D.S., Eckold G., Scott K.T., Buckley-Golder I.M.; *Thin Solid Films* 154 (1987) 125
- Rickerby 1989** Rickerby D.S., Jones A.M., Bellamy B.A.; *Surf. Coat. Technol.* 37 (1989) 111
- Robertson 2002** Robertson J.; *Mat. Sci. Engin. R* 37 (2002) 129
- Rommerskirchen 2001** Rommerskirchen M.; *Zum Ätzen von titanhaltigen Hartstoffschichten*; Dissertation an der Universität Köln; 2001
- Ronkainen 1998** Ronkainen H., Varjus S., Holmberg K.; *Wear* 222 (1998) 120
- Ronkainen 2001** Ronkainen H., Varjus S., Koskinen J.; *Wear* 249 (2001) 260
- Rossnagel 1995** Rossnagel, S.M.; in: Sproul W.D., Legg K.O. (Hrsg.): *Opportunities for Innovation: Advanced Surface Engineering*; Technomic Publishing; Zürich; 1995
- Rother 1992** Rother B.; in: Rother B., Vetter J. (Hrsg.); *Plasma-Beschichtungsverfahren und Hartstoffschichten*; Dt. Verlag für Grundstoffindustrie; Leipzig; 1992; 22
- Rother 1996** Rother B., Jehn H.A., Gabriel H.M.; *Surf. Coat. Techn.* 86-87 (1996) 207

Literaturzitate

- Rother 1999** Rother B., Ebersbach G., Gabriel H.M.; *Surf. Coat. Techn.* 116-119 (1999) 694
- Rubahn 1996** Rubahn H.-G.; in: Rubahn H.-G. (Hrsg.); *Laseranwendungen in der Oberflächenphysik und Materialbearbeitung*; Teubner Studienbücher; Stuttgart 1996; 61
- Saenger 1992** Saenger K.L.; *Processing of Advanced Materials* 3 (1993) 1
- Saenger 1994** Saenger K. L.; in: Chrisey D. B., Hubler G. K. (Hrsg.); *Pulsed Laser Deposition of Thin Films*; Wiley; New York; 1994; 199
- Saenger 1994-2** Saenger K.L.; in: Chrisey D.B., Hubler G.K. (Hrsg.); *Pulsed Laser Deposition of Thin Films*; John Wiley & Sons; New York; 1994; 581
- Sameshima 1998** Sameshima T.; *J. Non-Cryst. Solids* 227-230 (1998) 1196
- Sankur 1987** Sankur H., Nelson J.G., Pritt A.T. et al.; *J. Vac. Sci. Techn. A* 5 (1987) 15
- Santagata 1997** Santagata A., Marotta V., D'Allessio L. et al.; *Appl. Surf. Sci.* 109/110 (1997) 376
- Sato 1987** Sato T., Furuno S., Iguchi S. et al.; *Jap. Appl. Phys.* 26 (1987) L1487
- Sato 1988** Sato T., Furuno S., Iguchi S. et al.; *Appl. Phys. A.* 45 (1988) 355
- Scheffel 1999** Scheffel B., Schuhmacher B., Ehlers K.-D. et al.; *Verbundprojekt: Hochrate-Elektronenstrahlbedampfung in Kombination mit Plasmaprozessen zur wirtschaftlichen Abscheidung von neuen Schichtsystemen auf Stahlband*, Abschlußbericht Teil 1, Dezember 1999
- Scheibe 1990** Scheibe H.-J., Gorbunov A.A., Baranova G.K. et al.; *Thin Solid Films* 189 (1990) 283
- Schneider 1998** Schneider D., Meyer C.F., Mai H. et al.; *Diamond Relat. Mater.* 7 (1998) 973
- Schröter 1995** Schröter W., Lautenschläger K.-H., Bibrack H.; *Taschenbuch der Chemie*, 17. Auflage; Verlag Harri Deutsch; Thun, Frankfurt am Main; 1995
- Sedlacek 1992** Sedlacek V.; *Metallic Surfaces, Films and Coatings*; Elsevier; Amsterdam; 1992
- Seidel 1992** Seidel J., Wende B.; in: Raith W. (Hrsg.); *Bergmann-Schaefer, Lehrbuch der Experimentalphysik – Vielteilchen-Systeme*; Walter der Gruyter, Berlin 1992; 115
- Sekine 1990** Sekine T., Kanda H., Bando Y.; *J. Mater. Sci. Lett.* 9 (1990) 1376
- Sharma 2000** Sharma A.K., Narayan R.J., Narayan J.; *Mater. Sci. Engin. B* 77 (2000) 139
- Shinn 1986** Shinn G.B., Steigerwald F., Stiegler R. et al.; *J. Vac. Sci. Techn. B* 4 (1986) 1273
- Sibold 1993** Sibold D, Urbassek H.M.; *J. Appl. Phys.* 73 (1993) 8544

- Siegbahn 1967** Siegbahn K.; *ESCA*; Nova Acta Regiae Soc. Sci. Upsaliensis; Ser. IV, 20 (1967)
- Singer 1991** Singer I.L., Fayeulle S., Ehni P.D.; *Wear* 149 (1991) 375
- Slaoui 1992** Slaoui A., Fogarassy E., Fuchs C. et al.; *J. Appl. Phys.* 71 (1992) 590
- Song 1998** Song Y., Sakurai T., Kishimoto K.; *Thin Solid Films* 334 (1998) 92
- Steen 1998** Steen W. M.; *Laser Materials Processing*; 2nd Edition; Springer; London; 1998
- Stenzel 1996** Stenzel O.; *Das Dünnschichtspektrum*; Akademie-Verlag; Berlin; 1996
- Stenzel 1996** Stenzel O.; *Das Dünnschichtspektrum*; Akademie-Verlag; Berlin; 1996; 35
- Stetter 1973** Stetter F., Friz M.; *Chemiker-Zeitung* 97 (1973) 138
- Stotter 2002** Stotter C.; *Herstellung und Charakterisierung von PLD-Schichten auf Kohlenstoffbasis*; Diplomarbeit an der Montanuniversität Leoben; Leoben; 2002
- Süß 2002** Süß C., Leising G., Lackner J.M., Waldhauser W., Ebner R.; *Stoichiometry Investigations of Pulsed Laser Deposited Si / SiO_x Thin Films studied by Photoelectron Microscopy*; Proc. Int. Conf. Thin Films Bratislava (2002); in print
- Sutor 1982** Sutor W.; *Grundlagen metallischer Werkstoffe, Korrosion und Korrosionsschutz*; VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie; Leipzig; 1982; 92
- Takadoum 1997** Takadoum J., Houmid Bennani H.; *Surf. Coat. Techn.* 96 (1997) 272
- Teichert 2002** Teichert C.; *Physics Reports* 365 (2002) 335
- Temkin 1975** Temkin R.J.; *J. Non-cryst. Solids* 17 (1975) 215
- Thebert-Peeler 1993** Thebert-Peeler D., Murray P.T.; in: Miller J.C., Geohegan D.B. (Hrsg.); *Proc. 2nd Int. Conf. Laser Ablation: Mechanisms and Applications-II*; Knoxville, TN; 1993, AIP Press, New York; 1993; 248
- Thomson 1991** Thomson L.A., Law F.C., Ruchton N. et al.; *Biomaterials* 12 (1991) 37
- Thornton 1974** Thornton J. A.; *Journal of Vacuum Science and Technology* 11 (1974) 666
- Thornton 1977** Thornton J. A.; *Ann. Rev. Mater. Sci.* 7 (1977) 239
- Tipler 1998** Tipler P. A., Gerlich D.; *Physik*; 1. Auflage; Spektrum Akademischer Verlag; Heidelberg; 1998
- Tomcik 2000** Tomcik B., Osipowicz T., Lee J.Y.; *Thin Solid Films* 360 (2000) 173
- Trajanovic 1995** Trajanovic Z., Senapati L., Sharma R.P. et al.; *Appl. Phys. Lett.* 66 (1995) 2418
- Treichel 2000** Treichel O., Kirchhoff V.; *Surf. Coat. Techn.* 123 (2000) 268

- Tsuji 1992** Tsuji M., Itoh N., Nishimura Y.; *Jap. J. Appl. Phys.* 31 (1992) 2536
- Tylan 1994** Tylan General; *Instruction Manual: FC-2900 Series Mass Flow Controllers and Flowmeters*; Tylan General Corp.; Torrance (California); 1994
- Ujihara 1972** Ujihara K.; *J. Appl. Phys.* 43 (1972) 2376
- Urbach 1953** Urbach F.; *Phys. Rev.* 92 (1953) 1324
- Urbach 1953** Urbach F.; *Phys. Rev.* 92 (1953) 1324
- Valvoda 1996** Valvoda V.; *Surf. Coat. Techn.* 80 (1996) 61
- VDI 2616** VDI-Richtlinie 2616: *Härteprüfung an metallischen Werkstoffen*; Verein Deutscher Ingenieure; Beuth-Verlag; Berlin; 2002
- Veeco 2000** *Wyko Surface Profilers – Technical Reference Manual*; Veeco Metrology Group; Woodbury (NY); 2000
- Venables 1984** Venables J. A., Spiller G. D. T., Hanbücken M.; *Rep. Prog. Phys.* 47 (1984) 399
- Vetter 1992** Vetter J.; in: Rother B., Vetter J. (Hrsg.); *Plasma-Beschichtungsverfahren und Hartstoffschichten*; Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie; Leipzig; 1992; 61-67
- Vijayalakshmi 1998** Vijayalakshmi S., George M.A., Sturmman J. et al.; *Appl. Surf. Sci.* 127-129 (1998) 378
- Vispute 1998** Vispute R.D., Talyanski V., Sharma R.P. et al.; *Appl. Surf. Sci.* 127-129 (1998) 431
- Voevodin 1995** Voevodin A.A., Laube S.J.P., Walck S.D. et al.; *J. Appl. Phys.* 78 (1995) 4123
- Voevodin 1996** Voevodin A.A., Donley M.S.; *Surf. Coat. Techn.* 82 (1996) 199
- Voevodin 1996-2** Voevodin A.A., Phelps A.W., Zabinski J.S. et al.; *Diam. Relat. Mater.* 5 (1996) 1264
- Voevodin 1997** Voevodin A.A., Donley M.S., Zabinski J.S.; *Surf. Coat. Techn.* 92 (1997) 42
- Voevodin 1997-2** Voevodin A.A., Capano M.A., Laube S.J.P. et al.; *Thin Solid Films* 298 (1997) 107
- Voevodin 1997-3** Voevodin A.A., Walck S.D., Zabinski J.S.; *Wear* 203-204 (1997) 516
- Wachtman 1993** Wachtman J.B., Haber R.A.; in: Wachtman J.B., Haber R.A. (Hrsg.); *Ceramic Films and Coatings*; Noyes Publications; Westwood (New Jersey); 1993
- Wagal 1988** Wagal S.S., Juengermann E.M., Collins C.B.; *Appl. Phys. Lett.* 53 (1988) 187
- Wakayama 1998** Wakayama Y., Inokuma T., Hasegawa S.; *J. Cryst. Growth* 183 (1998) 124

- Wang 2000** Wang X., Zhang F., Zheng Z. et al.; *Mater. Lett.* 44 (2000) 105
- Wang 2001** Wang H.-D., Lu Y.-F., Mai Z.-H. et al.; *Jpn. J. Appl. Phys.* 39 (2000) 5268
- Wassermann 1962** Wassermann G., Grewen J.; *Texturen metallischer Werkstoffe*; Springer-Verlag; Berlin, Göttingen, Heidelberg; 1962
- Weaver 1975** Weaver C.; *J. Vac. Sci. Techn.* 12 (1975) 18
- Weaver 1998** Weaver I., Lewis C.L.S., MacPhee A.G. et al.; *Appl. Surf. Sci.* 127-129 (1998) 915
- Weber 1987** Weber K.; in: Gobrecht H. (Hrsg.); *Bergmann Schaefer – Lehrbuch der Experimentalphysik – Band 3: Optik*; Walter de Gruyter; Berlin; 1987
- Wei 1999** Wei Q., Sharma A.K., Sankar J.; *Composites B* 30 (1999) 675
- Wiesendanger 1997** Wiesendanger R.; *Scanning Probe Microscopy – Analytical Methods*; Spinger; Berlin; 1998
- Williams 1987** Williams D.S., Baiocchi F.A., Beairsto R.C. et al.; *J. Vac. Sci. Techn.* B5 (1987) 1723
- Willmott 1998** Willmott P.R., Timm R., Huber J.R.; *Appl. Surf. Sci.* 127-129 (1998) 105
- Wilson 2000** Wilson S., Alpas A.T.; *Wear* 245 (2000) 223
- Windischmann 1987** Windischmann H.; *J. Appl. Phys.* 62 (1987) 1800
- Witke 1997** Witke K.; *Materialprüfung* 39 (1997) 316
- Woollam 1999** Woollam J., Johs B., Herzinger C. et al.; *Critical Reviews of Optical Science and Technology CR* 72 (1999) 1
- Wriedt 1990** Wriedt W.A., Murray J.L.; in: Massalsky T.B. (Hrsg.); *Binary Alloy Phase Diagrams*, 2nd edition; Vol. 1; ASM International; Materials Park; Ohio; 1990
- Wu 1982** Wu S.; in: Wu S.; *Polymer interface and adhesion*; Marcel Dekker Inc.; New York; 1982; 337
- Wünsch 1993** Wünsch K.-H., Miethchen R., Ehlers; *Grundkurs Organische Chemie*, 6. Auflage; Edition Deutscher Verlag der Wissenschaften; Leipzig, Berlin; 1993
- Xi 1994** Xi X.X.; in: Chrisey D.B., Hubler G.K. (Hrsg.); *Pulsed Laser Deposition of Thin Films*; John Wiley & Sons; New York; 1994; 381
- Xiao 1995** Xiao R.-F.; Ng L.C.; Jiang C. et al.; *Thin Solid Films* 260 (1995) 10
- Xiong 1993** Xiong F., Wang Y.Y., Leppert V. et al.; *J. Mater. Res.* 8 (1993) 2265
- Yamamoto 2001** Yamamoto S., Sumita T., Siguharuto T.; *Thin Solid Films* 401 (2001) 88
- Yasuda 1999** Yasuda S., Chikyow T., Inoue S. et al.; *Appl. Phys. A* 69 (1999) S925

Literaturzitate

- Yeh 1985** Yeh J.J., Lindau I.; *Atomic Data and Nuclear Data Tables* 32 (1985) 6
- Yokota 1994** Yokota Y.K., Kimura M., Kujima K.; *Jap. J. Appl. Phys.* 25 (1986) 1608
- Yokota 2002** Yokota K., Nakamura K., Kasuya T. et al.; *Surf. Coat. Techn.* 158-159 (2002) 690
- Yoshitake 1999** Yoshitake T., Nishiyama T., Hajime A. et al.; *Appl. Surf. Sci.* 141 (1999) 129
- Yoshitake 2000** Yoshitake T., Nishiyama T., Nagayama K.; *Diam. Relat. Mater.* 9 (2000) 689
- Zhang 2000** Zhang Z., VanRompay P.A., Nees J.A. et al.; *Appl. Surf. Sci.* 154-155 (2000) 165
- Zitz 2000** Zitz S.; *Projektwischenbericht „Oxidschichten auf verzinktem Stahlband“ (MCL-Projekt S2)*; Leoben; 2000
- Züchner 1983** Züchner H.; in: Grabke H.J. (Hrsg.); *Oberflächenanalytik in der Metallkunde*; Deutsche Gesellschaft für Metallkunde e.V.; Oberursel; 1983; 211

7.2 Eigene Veröffentlichungen

- (1) J.M. Lackner, W. Waldhauser, R. Ebner, W. Lenz, C. Suess, G. Jakopic, G. Leising, H. Hutter; *Pulsed laser deposition: a new technique for deposition of amorphous SiO_x thin films*; Surface and Coatings Technology 163-164 (2003); 300-305
- (2) Ch. Stotter, J.M. Lackner, W. Waldhauser, W. Lenz, R. Ebner; *Tribological carbon based coatings for wear protection at low temperatures*; Poster; Junior's Euromat 2002
- (3) J.M. Lackner, W. Waldhauser, R. Ebner, W. Lenz, B. Major, T. Schöberl; *Structural and tribological characterization of pulsed laser deposited TiN thin films*; Sonderbände der Praktischen Metallographie (2003); in print
- (4) J.M. Lackner, C. Stotter, W. Waldhauser, R. Ebner, W. Lenz, M. Beutl; *Pulsed laser deposition of diamond-like carbon coatings for industrial tribological applications*; Surface and Coatings Technology; accepted
- (5) C. Suess, G. Leising, J.M. Lackner, W. Waldhauser, W. Lenz, R. Ebner; *X-ray photoelectron spectroscopy of pulsed laser deposited Si / SiO_x thin films*; Proc. JVC 2002; accepted
- (6) J.M. Lackner, W. Waldhauser, W. Lenz, R. Ebner, B. Major, T. Schöberl; *Deposition of TiN thin films on three dimensional shaped tools by pulsed laser deposition*; Proc. Materials Week 2002
- (7) J.M. Lackner, C. Stotter, W. Waldhauser, R. Ebner, W. Lenz, M. Beutl; *Tribological carbon-based coatings for wear protection*; Proc. Materials Week 2002
- (8) C. Stotter, J.M. Lackner, W. Waldhauser, R. Ebner, W. Lenz; *Diamond-like Carbon (DLC) Schichtsysteme als kompetenter Partner in Fragen Tribologie und Verschleiß*; Der Werkstoffler 22 (2002); 25
- (9) J.M. Lackner, W. Waldhauser, R. Ebner, W. Lenz, B. Major, T. Schöberl; *Morphological, structural and tribological characterization of pulsed laser deposited titanium nitride coatings*; Praktische Metallographie (2003); submitted
- (10) J.M. Lackner, W. Waldhauser, R. Ebner, W. Lenz, W. Mroz; *Pulsed Laser Deposition: Hartstoffschichten für innovative Anwendungen*; Galvanotechnik (2003); submitted

- (11) J.M. Lackner, W. Waldhauser, R. Ebner, W. Lenz, T. Schöberl, M. Beutl, G. Jakopic, G. Leising, H. Hutter; *Chemical, optical and mechanical properties of pulsed laser deposited $Si_{(1-x)}C_x:H$ thin films*; Surface and Coatings Technology; accepted
- (12) J.M. Lackner, W. Waldhauser, R. Ebner, W. Lenz; *Low-Friction Pulsed Laser Deposited TiAlN and TiAlCN Thin Films for Wear Protection*; Surface and Coatings Technology; accepted
- (13) J.M. Lackner, W. Waldhauser, R. Ebner, W. Lenz, T. Schöberl, M. Beutl, G. Jakopic, G. Leising, H. Hutter; *Pulsed laser deposited SiN_x thin films – Characterization of chemical, mechanical and optical properties*; Thin Solid Films; submitted
- (14) J.M. Lackner, W. Waldhauser, R. Ebner, B. Major, T. Schöberl; *Room temperature pulsed laser deposition of titanium oxide coatings for industrial tribological applications*; Surface and Coatings Technology; accepted
- (15) B. Major, W. Mroz, T. Wierzchon, W. Waldhauser, J.M. Lackner, R. Ebner; *Pulsed laser deposition of advanced titanium nitride thin layers*; Surface and Coatings Technology; accepted
- (16) J.M. Lackner, W. Waldhauser; *Laser-Dünnschichttechnik am Laserzentrum Leoben*; TripleM – F&E 2 (2003); Montanuniversität Leoben
- (17) J.M. Lackner, W. Waldhauser, R. Ebner, B. Major, T. Schöberl; *Structural, mechanical and tribological investigations of pulsed laser deposited TiN coatings*; Thin Solid Films; accepted
- (18) M. Janotta, F. Vogt, H.-S. Voraberger, W. Waldhauser, J.M. Lackner, C. Stotter, M. Beutl, Boris Mizaikoff; *Direct analysis of oxidizing agents in aqueous solution with attenuated total reflectance mid-infrared spectroscopy and DLC protected waveguides*; J. Electrochemical Soc. (2003); submitted