

Inhalt

| | | |
|-------|--|----|
| 1 | Einleitung und Zielsetzung | 1 |
| 2 | Stand der Erkenntnisse | 5 |
| 2.1 | Grundlegende Beziehungen in der röntgenographischen Spannungsanalyse (RSA) dünner Schichten | 5 |
| 2.2 | Einfluss der Schichttextur und -morphologie auf die elastischen Eigenschaften von Dünnschichtsystemen | 7 |
| 2.3 | Besonderheiten in der Röntgendiffraktometrie dünner Schichten | 8 |
| 2.3.1 | <i>Informationstiefe</i> | 8 |
| 2.3.2 | <i>Brechungskorrektur</i> | 12 |
| 2.4 | Übertragung auf den energiedispersiven Fall der Beugung | 13 |
| 2.5 | Verfahren zur RSA an dünnen polykristallinen Schichten | 15 |
| 2.5.1 | <i>Einteilung der Methoden</i> | 15 |
| 2.5.2 | <i>Methoden für Schichten mit regelloser oder schwacher Textur</i> | 17 |
| 2.5.3 | <i>Methoden für stark vorzugstexturierte Schichten</i> | 19 |
| 2.5.4 | <i>RSA an Multilagenschichtsystemen</i> | 20 |
| 2.5.5 | <i>Schlussfolgerungen</i> | 22 |
| 3 | Erweiterung der Laplacemethoden zur Spannungsanalyse dünner Schichten auf Multilagenschichtsysteme | 25 |
| 3.1 | Die Bedeutung der Informationstiefe in Multilagenschichten | 25 |
| 3.2 | Zusammenhang von Ortsraum- und Laplacespannungen in Multilagenschichtsystemen, das Konzept der Äquivalenzdicke | 28 |
| 3.3 | Simulation von Interferenzlinienprofilen | 29 |
| 3.3.1 | <i>Winkeldispersiver Beugungsmodus</i> | 29 |
| 3.3.2 | <i>Übertragung auf den energiedispersiven Fall der Beugung</i> | 33 |
| 4 | Experimentelles | 35 |
| 4.1 | Die Diffraktionsmessplätze ETA, EDDI und MAGS | 35 |
| 4.1.1 | <i>Das 5-Kreis-Laborröntgendiffraktometer ETA</i> | 35 |
| 4.1.2 | <i>Der energiedispersive Synchrotron-Materialforschungsmessplatz EDDI</i> | 37 |
| 4.1.3 | <i>Die winkeldispersive Beamline MAGS</i> | 39 |
| 4.2 | Mess- und Auswerteparameter | 40 |
| 4.2.1 | <i>Beugungsbedingungen</i> | 40 |
| 4.2.2 | <i>Auswertung der röntgenographischen Linienprofile</i> | 42 |
| 4.2.3 | <i>Diffraktionselastische Konstanten</i> | 43 |
| 4.3 | Probenmaterial | 45 |

| | | |
|-------|---|-----|
| 5 | Ergebnisse | 48 |
| 5.1 | Röntgenographische Probenvorcharakterisierung | 48 |
| 5.2 | Tiefenaufgelöste Eigenspannungsanalyse in einzelnen Subschichten von Multilagenschichtsystemen | 51 |
| 5.2.1 | <i>Winkeldispersiver Beugungsmodus</i> | 51 |
| 5.2.2 | <i>Asymmetrische Linienprofilverzerrung aufgrund von Eigenspannungstiefengradienten</i> | 57 |
| 5.2.3 | <i>Anwendung der energiedispersiven Methode</i> | 60 |
| 5.3 | Komplementärer Einsatz von winkel- und energiedispersiver Beugung zur Charakterisierung von Multilagenschichtsystemen | 65 |
| 5.3.1 | <i>Schichteigenspannungsanalyse mittels winkeldispersiver Beugung</i> | 65 |
| 5.3.2 | <i>Anwendung der energiedispersiven Methode zur Charakterisierung der grenzflächennahen Substratbereiche</i> | 67 |
| 5.4 | Eigenspannungstiefenverteilungen in Abhängigkeit vom Design der Multilagenschichtsysteme | 69 |
| 5.5 | Eigenspannungsanalyse in benachbarten, chemisch ähnlichen Subschichten eines Multilagenschichtsystems | 71 |
| 6 | Diskussion | 75 |
| 6.1 | Optimierung der experimentellen Bedingungen für die RSA in Multilagenschichtsystemen | 75 |
| 6.2 | Anwendbarkeit und Grenzen des entwickelten Modellansatzes | 77 |
| 7 | Zusammenfassung und Ausblick | 86 |
| | Verzeichnis der wichtigsten Symbole und Abkürzungen | 89 |
| | Literatur | 90 |
| | Anhang A: Die MATHEMATICA® 4.0 Programmpakete WD-Multi und ED-Multi | 97 |
| | Anhang B: Publikationen | 106 |