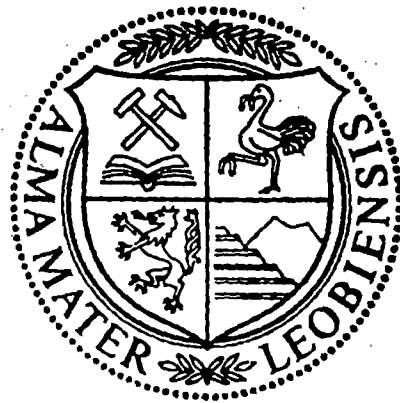


**Zusammenhang zwischen
Prozessparametern und optischer Absorption
reaktiv aufgedampfter TiO₂-Schichten**

Diplomarbeit

von

Robert Linsbod



am

Institut für Metallkunde und Werkstoffprüfung

Montanuniversität Leoben

Leoben, Mai 2003

INHALT

| | | |
|----------|--------------------------------------------------------------------|----------|
| 1 | EINLEITUNG UND ZIELSETZUNG | 1 |
| 2 | GRUNDLAGEN | 3 |
| 2.1 | Grundbegriffe der Optik | 3 |
| 2.1.1 | Lichtquellen | 3 |
| 2.1.2 | Ausbreitung des Lichts | 3 |
| 2.1.3 | Beeinflussung des Lichts durch Materie | 3 |
| 2.1.4 | Detektion des Lichts | 4 |
| 2.1.5 | Eigenschaften des Lichts..... | 4 |
| 2.2 | Teilgebiete der Optik..... | 4 |
| 2.3 | Wellenoptik | 5 |
| 2.3.1 | Die ebene monochromatische Welle | 5 |
| 2.3.2 | Wellenlänge, Spektrum | 5 |
| 2.3.3 | Lichtgeschwindigkeit..... | 6 |
| 2.3.4 | Brechzahl | 7 |
| 2.3.5 | Reflexion und Brechung | 7 |
| 2.3.6 | Dispersion | 8 |
| 2.3.7 | Lichtintensität | 8 |
| 2.3.8 | Interferenz | 9 |
| 2.3.9 | Reflexion, Transmission, Absorption | 10 |
| 2.3.10 | Fresnelsche Formeln..... | 10 |
| 2.3.11 | Reflexion des unbeschichteten Mattglases | 11 |
| 2.3.12 | Transmission und Reflexion des unbeschichteten Klarglases..... | 12 |
| 2.3.13 | Dielektrische Interferenzschichten..... | 14 |
| 2.3.13.1 | Die $\lambda/4$ -Schicht..... | 14 |
| 2.3.13.2 | Die $\lambda/2$ -Schicht..... | 16 |
| 2.3.13.3 | Reflexion der Einzelschicht als Funktion der Schichtdicke | 17 |
| 2.3.13.4 | Reflexion der Einzelschicht als Funktion der Wellenlänge..... | 18 |
| 2.3.13.5 | Reflexion und Transmission der Einzelschicht auf dem Klarglas..... | 21 |
| 2.3.13.6 | Beispiele von Mehrschichtsystemen | 22 |

| | | |
|----------|-----------------------------------------------------------------|-----------|
| 2.4 | Absorption | 23 |
| 2.5 | Reaktives Aufdampfen..... | 24 |
| 2.6 | Elektronenstrahlverdampfen | 26 |
| 2.7 | Das Stoßzahlverhältnis..... | 27 |
| 2.8 | Kongruente Verdampfung..... | 29 |
| 2.9 | Packungsdichte | 29 |
| 2.10 | (Optische) Inhomogenität | 31 |
| 2.10.1 | Positive Inhomogenität | 31 |
| 2.10.2 | Negative Inhomogenität..... | 31 |
| 2.10.3 | Beispiel..... | 31 |
| 2.10.4 | Unterscheidung zwischen Inhomogenität und Absorption..... | 32 |
| 3 | EXPERIMENTELLE METHODEN | 33 |
| 3.1 | Aufdampfung mit der BAK 640 | 33 |
| 3.1.1 | Anlagenaufbau | 33 |
| 3.1.2 | Ablauf einer Aufdampfung | 35 |
| 3.2 | Planung der Aufdampfungen | 36 |
| 3.3 | Wahl der Schichtdicken | 37 |
| 3.4 | Verwendete Materialien | 38 |
| 3.4.1 | Aufdampfmaterial Titan-Suboxid | 38 |
| 3.4.2 | Aufdampfmaterial Quarz für Deckschichten | 38 |
| 3.4.3 | Substrate | 38 |
| 3.4.4 | Präparierung des Liners | 40 |
| 3.5 | Aufdampfung mit nichtrotierendem Substrathalter..... | 40 |
| 3.6 | Spektrometrie | 41 |
| 3.6.1 | Kalibrierung | 42 |
| 3.7 | Brechzahl-Bestimmung..... | 43 |
| 3.7.1 | Brechzahl bei ungeraden vielfachen $\lambda/4$ -Positionen..... | 43 |
| 3.7.2 | Brechzahl bei der Wellenlänge von 550 nm | 44 |

| | | |
|------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 3.8 | Bestimmung der Absorption | 46 |
| 3.8.1 | Feststellung von Absorption mit freiem Auge an der Glaskante | 46 |
| 3.8.2 | Feststellung von Absorption durch Betrachtung vor Kaltlichtspiegel | 46 |
| 3.8.3 | Transmission und Reflexion bei den Vielfachen der $\lambda/2$ -Position | 46 |
| 3.9 | Ermittlung der Schichtdicke und der Wachstumsrate | 49 |
| 3.9.1 | Schichtdickenermittlung durch Auswertung des Transmissions- oder Reflexionsspektrums | 49 |
| 3.9.2 | Schichtdickenermittlung mit Tencor Alpha-Step 500 | 49 |
| 3.9.3 | Ermittlung von Schichtdicke und Wachstumsrate mit Schwingquarz | 49 |
| 3.9.4 | Korrektur der Schichtdicke mittels Tooling-Faktor | 51 |
| 3.10 | Rutherford Backscattering Spectroscopy (RBS) | 52 |
| 3.10.1 | Elastic Recoil Detection Analysis (ERDA) | 53 |
| 3.11 | Bestimmung der Packungsdichte und des Oxidationsgrades vor dem Fluten mit Hilfe des Schwingquarzes | 53 |
| 3.12 | Bestimmung der Packungsdichte aus der Brechzahl | 55 |
| 3.13 | Berechnung des Stoßzahlverhältnisses | 55 |
| 3.13.1 | Grundlegendes zum Stoßzahlverhältnis und dessen Berechnung | 55 |
| 3.13.2 | Stoßzahlverhältnisbestimmung mit Hilfe der Brechzahl | 56 |
| 3.13.3 | Stoßzahlverhältnisbestimmung mit Hilfe der Schwingquarzfrequenz | 57 |
| 4 | EXPERIMENTELLER TEIL | 59 |
| 4.1 | Aufdampfungen bei 25 °C ohne Deckschicht | 59 |
| 4.1.1 | Allgemeines | 59 |
| 4.1.2 | Aufdampfparameter | 59 |
| 4.1.3 | Absorption | 60 |
| 4.1.4 | Zeitabhängigkeit von Transmission und Absorption | 63 |
| 4.1.5 | Oxidationsgrad vor dem Fluten | 73 |
| 4.1.6 | Brechzahlen | 73 |
| 4.2 | Aufdampfungen bei 250 °C ohne Deckschicht | 77 |
| 4.2.1 | Allgemeines | 77 |
| 4.2.2 | Absorptionswerte | 78 |

| | | |
|----------|----------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 4.2.3 | Zeitabhängigkeit der Transmission..... | 80 |
| 4.2.4 | Fluten | 80 |
| 4.2.5 | Brechzahlen | 82 |
| 4.2.6 | Schichtzusammensetzungs-Bestimmung mit RBS..... | 83 |
| 4.3 | Aufdampfungen mit Deckschicht | 83 |
| 4.3.1 | Allgemeines..... | 83 |
| 4.3.2 | Absorption | 84 |
| 4.3.3 | Fluten und Nachoxidation..... | 89 |
| 4.4 | Vergleich der Absorptionswerte aller Serien | 90 |
| 4.5 | Stoßzahlverhältnisse | 93 |
| 4.5.1 | Auswirkung von Abweichungen der Prozessparameter auf die Stoßzahlverhältnisse | 95 |
| 4.5.2 | Zur Genauigkeit der Werte für die Stoßzahlverhältnisse | 97 |
| 4.6 | Ergänzende Untersuchungen | 98 |
| 4.6.1 | Absorption in Abhängigkeit von der Wellenlänge | 98 |
| 4.6.2 | Elektrischer Widerstand..... | 98 |
| 4.6.3 | Aufdampfung mit nichtrotierendem Substrathalter | 99 |
| 5 | ZUSAMMENFASSUNG | 103 |
| 6 | LITERATURVERZEICHNIS..... | 105 |
| 7 | ANHANG | 110 |
| 7.1 | Symbolverzeichnis..... | 110 |
| 7.1.1 | Lateinische Symbole | 110 |
| 7.1.2 | Griechische Symbole | 113 |
| 7.2 | Abkürzungsverzeichnis..... | 114 |
| 7.3 | Tabelle Absorption qualitativ..... | 115 |
| 7.4 | Tabelle Aufdampfparameter | 116 |