

9 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 3-1: Schematische Darstellung eines Anodisationsbades [1].	5
Abbildung 3-2: Schematische Darstellung der Behandlungsschritte in einer Anodisationslinie	6
Abbildung 3-3: Schematische Darstellung des Schichtwachstums nach Rummel [21].	9
Abbildung 3-4: Darstellung des Wachstumsvorgangs der Al ₂ O ₃ -Schicht nach Baumann [16].	9
Abbildung 3-5 : Modell einer Eloxalschicht nach Keller, Hunter und Robinson[17].	9
Abbildung 3-6 : Zwei Modelle der anodischen Oxidbildung nach Murphy und Michelson [22].	10
Abbildung 3-7: Heute allgemein anerkanntes Modell des anodischen Schichtaufbaus [27].	10
Abbildung 3-8: Schematische Darstellung der Schichtstruktur farbiger, anodischer Oxidschichten [29].	12
Abbildung 3-9: Schematischer Reaktionsmechanismus bei der Verdichtung [36].	14
Abbildung 3-10: Mechanismus der Verdichtungsreaktion [36].	15
Abbildung 3-11: Linear polarisiertes Licht [43].	17
Abbildung 3-12: Zirkular polarisiertes Licht [43].	17
Abbildung 3-13: Reflexion eines Lichtstrahls an einer Oberfläche [44].	18
Abbildung 3-14: Das Snelliussche Brechungsgesetz [45].	18
Abbildung 3-15: Mehrfachreflexionen in einer Schicht [45].	20
Abbildung 3-16: Typischer Verlauf der Spektren eines starken und schwachen Oszillators [45].	22
Abbildung 3-17: Interferenz durch Reflexion an einem Metall.	23
Abbildung 3-18: Entstehung eines FT-IR-Spektrums [50].	24
Abbildung 3-19: Polarisator und Analysator - Malussches Gesetz [43].	29
Abbildung 3-20: Ein Quarter Wave Plate [44].	30
Abbildung 3-21: Schematischer Aufbau eines Null-Ellipsometers [44].	31
Abbildung 3-22: Schematischer Aufbau eines photometrischen Ellipsometers [44].	32
Abbildung 3-23: Meßprinzip eines spektroskopischen Infrarot-Ellipsometers [45].	34
Abbildung 3-24: Drahtgitterpolarisator [43].	34
Abbildung 4-1: Der Brechungsindex von synthetischem Saphir für den ordentlichen Strahl nach Malitson [54].	36
Abbildung 4-2: Transmissionsgrad von synthetischem Saphir bei verschiedenen Temperaturen nach Oppenheim und Even [55].	36
Abbildung 4-3: Spektrale Absorptionskoeffizienten für synthetischen Saphir in der Spektralregion von 3-6 µm für verschiedene Temperaturen nach Oppenheim und Even [55].	36
Abbildung 4-4: Absorptionskoeffizient χ und Brechungsindex n für Rubin. Polarisation $E \perp c$, ordentlicher Strahl nach Häfele [56].	37
Abbildung 4-5: Absorptionskoeffizient χ und Brechungsindex n für Rubin. Polarisation $E \parallel c$, außerordentlicher Strahl nach Häfele [56].	37
Abbildung 4-6: Imaginärteil der Dielektrizitätskonstanten $\epsilon'' = 2n^2x$ von Rubin für den ordentlichen Strahl ($E \perp c$) und für den außerordentlicher Strahl ($E \parallel c$) nach Häfele [56].	38
Abbildung 4-7: Typisches Muster von $\nu(\text{OH})$ -Frequenzen, interpretiert von Hallam als zwei Typen von Oberflächen-OH-Gruppen [60].	39
Abbildung 4-8: Transmissionspektrum von zwei Al ₂ O ₃ Schichten mit unterschiedlicher Schichtdicke t auf KRS-5 bzw. kristallinem Silizium nach Eriksson, Hjortsberg et al. [64].	40
Abbildung 4-9: Reflexionsspektren von Al ₂ O ₃ + Al Schichten mit unterschiedlicher Schichtdicke t , Einfallswinkel θ und Polarisationszustand s und p , nach Eriksson, Hjortsberg et al. [64].	40

Abbildung 4-10: Real- und Imaginärteil der dielektrischen Funktion für Al_2O_3 Filme [64].....	41
Abbildung 4-11: Wellenlängen abhängiger Brechungsindex von Al_2O_3 [64].....	41
Abbildung 4-12: Infrarot Spektrum von $\eta\text{-Al}_2\text{O}_3$ [71].	43
Abbildung 4-13: Infrarot Reflexionsspektren von Aluminiumoxidkeramiken nach Worrell [72].....	43
Abbildung 4-14: n und k nach Worrell [72].	44
Abbildung 4-15: Infrarot Transmission und Reflexion für anodisierte Filme, getrocknet bei $120\text{ }^\circ\text{C}$, nach Harris [75].....	46
Abbildung 4-16: Reflexionsspektrum von anodisiertem poliertem Aluminium nach Weaver [76].....	47
Abbildung 4-17: Effekt der Verdichtung auf die Reflexion von anodisiertem Aluminium nach Weaver [76].....	48
Abbildung 4-18: Effekt der Schichtdicke auf die Reflexion von anodisiertem Aluminium nach Weaver [76].....	48
Abbildung 4-19: Absorptionsspektren nach Lan et al. [77].	49
Abbildung 4-20: Modell der „primären Sperrschicht“ nach Dorsey Jr. als cyclisches Aluminiumsäure-Trihydrat [63].	50
Abbildung 4-21: Spektren in gerichteter Reflexion von Aluminiumoxidschichten nach Kiss und Szontágh [78].....	51
Abbildung 4-22: ATR- und Transmissionsspektren von amorphen Aluminiumoxidschichten nach Kiss und Szontágh [78].....	52
Abbildung 4-23: Interferenzmuster der Proben A (1.) und C (2.) nach Kiss und Szontágh [78].....	53
Abbildung 4-24: Reflexionsspektrum nach Yamamoto von anodisiertem Aluminium mit einer Schichtdicke von $10\text{ }\mu\text{m}$ [79].....	54
Abbildung 4-25: Reflexionsspektren nach Yamamoto von zwei kommerziell anodisierten Aluminiumproben [79].	54
Abbildung 4-26: Transmissionsspektren von anodischen Filmen anodisiert in Schwefel-, Phosphor- und Oxalsäure nach Nakamura et al. [80].	55
Abbildung 4-27: s- und p-polarisierte Reflexion an einem Nickel-pigmentierten anodischen Film nach Wackelgard [81].	56
Abbildung 4-28: p-polarisierte Reflexion an Nickel-pigmentierten anodischen Filmen nach Wackelgard [81].	56
Abbildung 4-29: Experimentelle und berechnete Spektren für einen anodischen Film auf Aluminium nach Schnyder et al. [89].	58
Abbildung 4-30: Experimentelle und berechnete $\tan\Psi$ - und $\cos\Delta$ -Spektren für eine Sperrschicht nach de Laet et al. [91].	59
Abbildung 4-31: Experimentelle und berechnete $\tan\Psi$ - und $\cos\Delta$ -Spektren für eine poröse Oxidschicht nach de Laet et al. [91].	59
Abbildung 4-32: Experimentelle $\tan\Psi$ - und $\cos\Delta$ -Spektren für eine poröse Oxidschicht vor und nach einer Heißwasserverdichtung von 5 min bei $95\text{ }^\circ\text{C}$ nach de Laet et al. [92].	60
Abbildung 5-1: 30° Reflexionseinheit.....	66
Abbildung 5-2: 80° Reflexionseinheit mit eingesetztem Polarisator.	66
Abbildung 5-3: Wirbelstrommethode [98].	68
Abbildung 5-4: Meßgerät zur Schichtdickenbestimmung von anodisierten Schichten auf Aluminium [98].....	68
Abbildung 6-1: 30° -Spektren der Probe GS-1.....	71
Abbildung 6-2: 80° -Spektren der Probe GS-1.....	71
Abbildung 6-3: 80° -Spektren der Probe Color-0.....	72
Abbildung 6-4: 30° -Spektren der Probe Weiß-1 (weißanodisiert, unverdichtet).....	73
Abbildung 6-5: 30° -Spektren der Probe Weiß-3 (weißanodisiert, verdichtet).....	73
Abbildung 6-6: $\tan\Psi$ - und Δ -Spektren der Probe Color-0.	77
Abbildung 6-7: $\tan\Psi$ - und Δ -Spektren der Probe GS-1.	77
Abbildung 6-8: $\tan\Psi$ - und Δ -Spektren der Probe Color-6.	78
Abbildung 6-9: $\tan\Psi$ - und Δ -Spektren der Probe Color-6v.	78
Abbildung 6-10: $\tan\Psi$ - und Δ -Spektren der Probe Dün-1.....	79
Abbildung 6-11: $\tan\Psi$ - und Δ -Spektren der Probe Weiß-1 (weißanodisiert, unverdichtet).	80

Abbildung 6-12: $\tan\Psi$ - und Δ -Spektren der Probe Weiß-2 (weißanodisiert, unverdichtet).	80
Abbildung 6-13: $\tan\Psi$ - und Δ -Spektren der Probe Weiß-3 (weißanodisiert, verdichtet).	81
Abbildung 6-14: $\tan\Psi$ - und Δ -Spektren einer anodischen Schicht auf AlMgSi1 (Color-AlMgSi1). ..	86
Abbildung 6-15: $\tan\Psi$ - und Δ -Spektren einer anodischen Schicht auf Al 99,5 % (Color-Al99,5).....	87
Abbildung 6-16: $\tan\Psi$ - und Δ -Spektren einer anodischen Schicht auf AC120 (Color-AC120).....	87
Abbildung 6-17: $\tan\Psi$ - und Δ -Spektren von AlMgSi1 (Leg-AlMgSi1).	89
Abbildung 6-18: $\tan\Psi$ - und Δ -Spektren von Al 99,5 % (Leg-Al99,5).....	90
Abbildung 6-19: $\tan\Psi$ - und Δ -Spektren von AC120 (Leg-AC120).....	90
Abbildung 6-20: Brechungsindex n von AlMgSi1, Al 99,5 % und AC120 und der Literaturwerte [99].....	91
Abbildung 6-21: Absorptionskoeffizient k von AlMgSi1, Al 99,5 % und AC120 und der Literaturwerte [99].....	91
Abbildung 6-22: Mit einem 1- bzw. 2-Schichtenmodell simulierte $\tan\Psi$ -Spektren für die Probe GS-1.....	93
Abbildung 6-23: Mit einem 1- bzw. 2-Schichtenmodell simulierte Δ -Spektren für die Probe GS-1....	93
Abbildung 6-24: Mit einem 1-Schichtmodell simulierte $\tan\Psi$ -Spektren für die Probe GS-1. Optische Konstanten des Al-Substrats: AlMgSi1, Al 99,5 % und Literaturwerte [99].....	94
Abbildung 6-25: Mit einem 1-Schichtmodell simulierte Δ -Spektren für die Probe GS-1. Optische Konstanten des Al-Substrats: AlMgSi1, Al 99,5 % und Literaturwerte [99].....	94
Abbildung 6-26: Simuliertes und experimentelles $\tan\Psi$ -Spektrum der Probe GS-1.....	95
Abbildung 6-27: Simuliertes und experimentelles Δ -Spektrum der Probe GS-1.	95
Abbildung 6-28: Experimentelles und berechnetes $\tan\Psi$ -Spektrum der Probe GS-1.	97
Abbildung 6-29: Experimentelles und berechnetes Δ -Spektrum der Probe GS-1.....	97
Abbildung 6-30: Experimentelles und berechnetes $\tan\Psi$ -Spektrum der Probe Color-0.	98
Abbildung 6-31: Experimentelles und berechnetes Δ -Spektrum der Probe Color-0.....	98
Abbildung 6-32: Mit Hilfe der Simulationsrechnungen ermittelte n und k -Werte der Probe GS-1.....	99
Abbildung 6-33: Mit Hilfe der Simulationsrechnungen ermittelte n und k -Werte der Probe Color-0..	99
Abbildung 6-34: n und k -Spektrum für Aluminiumoxid (hot pressed Alumina, 99,9 %) [48].	100

Anhang

Abbildung 11-1: 30 ° IR-Reflexionsspektren der Probe Dün-1.....	121
Abbildung 11-2: 30 ° IR-Reflexionsspektren der Probe GS-1.	121
Abbildung 11-3: 30 ° IR-Reflexionsspektren der Probe GS-2.	122
Abbildung 11-4: 30 ° IR-Reflexionsspektren der Probe GS-3.	122
Abbildung 11-5: 30 ° IR-Reflexionsspektren der Probe GS-4.	123
Abbildung 11-6: 30 ° IR-Reflexionsspektren der Probe GS-5.	123
Abbildung 11-7: 30 ° IR-Reflexionsspektren der Probe Weiß-1.....	124
Abbildung 11-8: 30 ° IR-Reflexionsspektren der Probe Weiß-2.....	124
Abbildung 11-9: 30 ° IR-Reflexionsspektren der Probe Weiß-3.....	125
Abbildung 11-10: 30 ° IR-Reflexionsspektren der Probe Color-A.	125
Abbildung 11-11: 30 ° IR-Reflexionsspektren der Probe Color-B.....	126
Abbildung 11-12: 30 ° IR-Reflexionsspektren der Probe Color-C.....	126
Abbildung 11-13: 30 ° IR-Reflexionsspektren der Probe Color-D.	127
Abbildung 11-14: 30 ° IR-Reflexionsspektren der Probe Color-E.....	127
Abbildung 11-15: 30 ° IR-Reflexionsspektren der Probe Color-0.	128
Abbildung 11-16: 30 ° IR-Reflexionsspektren der Probe Color-1.	128
Abbildung 11-17: 30 ° IR-Reflexionsspektren der Probe Color-2.	129
Abbildung 11-18: 30 ° IR-Reflexionsspektren der Probe Color-3.	129
Abbildung 11-19: 30 ° IR-Reflexionsspektren der Probe Color-3v.	130
Abbildung 11-20: 30 ° IR-Reflexionsspektren der Probe Color-4.	130
Abbildung 11-21: 30 ° IR-Reflexionsspektren der Probe Color-5.	131

Abbildung 11-22: 30 ° IR-Reflexionsspektren der Probe Color-6.....	131
Abbildung 11-23: 30 ° IR-Reflexionsspektren der Probe Color-6v.....	132
Abbildung 11-24: 30 ° IR-Reflexionsspektren der Probe Color-7.....	132
Abbildung 11-25: 30 ° IR-Reflexionsspektren der Probe Color-8.....	133
Abbildung 11-26: 30 ° IR-Reflexionsspektren der Probe Color-9.....	133
Abbildung 11-27: 30 ° IR-Reflexionsspektren der Probe Color-9v.....	134
Abbildung 11-28: 30 ° IR-Reflexionsspektren der Probe Color-10.....	134
Abbildung 11-29: 30 ° IR-Reflexionsspektren der Probe Color-11.....	135
Abbildung 11-30: 30 ° IR-Reflexionsspektren der Probe Color-12.....	135
Abbildung 11-31: 80° IR-Reflexionsspektren der Probe Dün-1.....	136
Abbildung 11-32: 80° IR-Reflexionsspektren der Probe GS-1.....	136
Abbildung 11-33: 80° IR-Reflexionsspektren der Probe GS-2.....	137
Abbildung 11-34: 80° IR-Reflexionsspektren der Probe GS-3.....	137
Abbildung 11-35: 80° IR-Reflexionsspektren der Probe GS-4.....	138
Abbildung 11-36: 80° IR-Reflexionsspektren der Probe GS-5.....	138
Abbildung 11-37: 80° IR-Reflexionsspektren der Probe Weiß-1.....	139
Abbildung 11-38: 80° IR-Reflexionsspektren der Probe Weiß-3.....	139
Abbildung 11-39: 80° IR-Reflexionsspektren der Probe Weiß-3.....	140
Abbildung 11-40: 80° IR-Reflexionsspektren der Probe Color-A.....	140
Abbildung 11-41: 80° IR-Reflexionsspektren der Probe Color-B.....	141
Abbildung 11-42: 80° IR-Reflexionsspektren der Probe Color-C.....	141
Abbildung 11-43: 80° IR-Reflexionsspektren der Probe Color-D.....	142
Abbildung 11-44: 80° IR-Reflexionsspektren der Probe Color-E.....	142
Abbildung 11-45: 80° IR-Reflexionsspektren der Probe Color-0.....	143
Abbildung 11-46: 80° IR-Reflexionsspektren der Probe Color-1.....	143
Abbildung 11-47: 80° IR-Reflexionsspektren der Probe Color-2.....	144
Abbildung 11-48: 80° IR-Reflexionsspektren der Probe Color-3.....	144
Abbildung 11-49: 80° IR-Reflexionsspektren der Probe Color-3v.....	145
Abbildung 11-50: 80° IR-Reflexionsspektren der Probe Color-4.....	145
Abbildung 11-51: 80° IR-Reflexionsspektren der Probe Color-5.....	146
Abbildung 11-52: 80° IR-Reflexionsspektren der Probe Color-6.....	146
Abbildung 11-53: 80° IR-Reflexionsspektren der Probe Color-6v.....	147
Abbildung 11-54: 80° IR-Reflexionsspektren der Probe Color-7.....	147
Abbildung 11-55: 80° IR-Reflexionsspektren der Probe Color-8.....	148
Abbildung 11-56: 80° IR-Reflexionsspektren der Probe Color-9.....	148
Abbildung 11-57: 80° IR-Reflexionsspektren der Probe Color-9v.....	149
Abbildung 11-58: 80° IR-Reflexionsspektren der Probe Color-10.....	149
Abbildung 11-59: 80° IR-Reflexionsspektren der Probe Color-11.....	150
Abbildung 11-60: 80° IR-Reflexionsspektren der Probe Color-12.....	150
Abbildung 11-61: Experimentelles und berechnetes $\tan\Psi$ -Spektrum der Probe Dün-1.....	151
Abbildung 11-62: Experimentelles und berechnetes Δ -Spektrum der Probe Dün-1.....	151
Abbildung 11-63: Experimentelles und berechnetes $\tan\Psi$ -Spektrum der Probe GS-1.....	152
Abbildung 11-64: Experimentelles und berechnetes Δ -Spektrum der Probe GS-1.....	152
Abbildung 11-65: Experimentelles und berechnetes $\tan\Psi$ -Spektrum der Probe GS-2.....	153
Abbildung 11-66: Experimentelles und berechnetes Δ -Spektrum der Probe GS-2.....	153
Abbildung 11-67: Experimentelles und berechnetes $\tan\Psi$ -Spektrum der Probe GS-3.....	154
Abbildung 11-68: Experimentelles und berechnetes Δ -Spektrum der Probe GS-3.....	154
Abbildung 11-69: Experimentelles und berechnetes $\tan\Psi$ -Spektrum der Probe GS-4.....	155
Abbildung 11-70: Experimentelles und berechnetes Δ -Spektrum der Probe GS-4.....	155
Abbildung 11-71: Experimentelles und berechnetes $\tan\Psi$ -Spektrum der Probe GS-5.....	156
Abbildung 11-72: Experimentelles und berechnetes Δ -Spektrum der Probe GS-5.....	156
Abbildung 11-73: Experimentelles und berechnetes $\tan\Psi$ -Spektrum der Probe Weiß-1.....	157
Abbildung 11-74: Experimentelles und berechnetes Δ -Spektrum der Probe Weiß-1.....	157

