

Inhaltsverzeichnis

Verzeichnis der Abkürzungen und Symbole	5
Abstract	9
Zusammenfassung	15
1. Einleitung und Gliederung der Arbeit	19
2. Theorie und Literaturübersicht: Metall / Keramik-Grenzflächen	23
2.1 Herstellung von Metall / Keramik-Grenzflächen durch Diffusionsverschweißen	23
2.2 Grenzflächen-Energien und Adhäsionsarbeit	26
2.3 Experimentelle Untersuchungen der Cu / α -Al ₂ O ₃ -Grenzflächen ohne Reaktionsphasen	31
2.4 Nicht-ideale Metall / Keramik-Grenzflächen	32
2.4.1 Porenentstehung und Porenwachstum durch mechanische Beanspruchung	33
2.4.2 Porenentstehung und Porenwachstum durch nicht-benetzendes Verhalten von Metallen auf Keramiksubstraten, eingeschlossene Gase in Poren und Leerstellenübersättigung	36
2.5 Das ternäre System Cu / Al / O	39
2.5.1 Allgemeine Übersicht	39
2.5.2 Untersuchungen über Reaktionen an Cu / α -Al ₂ O ₃ -Grenzflächen	41
2.5.3 Struktur von CuAlO ₂	43
3. Probenmaterial und Probenpräparation	47
3.1 Präparation der Kupfer-Einkristalle mit der Orientierung (111) [1 $\bar{1}$ 0]	47
3.2 Präparation der α -Al ₂ O ₃ -Einkristalle mit der Orientierung (0001) [11 $\bar{2}$ 0]	50
3.3 UHV-Diffusionsverschweißanlage und Verschweißprozess	51
3.3.1 UHV-Verschweißanlage	51

3.3.2 Probenreinigung und Verschweißparameter	54
3.4 Auslagerung der Cu / α-Al₂O₃-Proben unter wohldefinierten O₂-Partialdrücken	56
3.4.1 Beschreibung des Auslagerungsofens	56
3.4.2 Die im Auslagerungsofen verwendeten Gase	59
3.4.3 Kalibrierung der Versuchspараметer	61
3.4.4 Untersuchte Cu / α-Al₂O₃-Proben	62
3.5 TEM-Probenpräparation	63
4. Eingesetzte Untersuchungsmethoden	65
4.1 Optische Mikroskopie und quantitative Bildanalyse	65
4.2 Oberflächenanalyse an geteilten Grenzflächen	66
4.2.1 Analyse der Reaktionsphase mittels Röntgendiffraktometrie	66
4.2.2 Topographische Analyse stark strukturierter Oberflächen durch Rasterelektronenmikroskopie (SEM)	67
4.2.3 Topographische Analyse von schwach strukturierten Oberflächen durch Rasterkraftmikroskopie (AFM)	68
4.3 Grenzflächencharakterisierung mittels Transmissionselektronenmikroskopie (TEM)	69
4.3.1 Wechselwirkung zwischen beschleunigten Elektronen und Materie	70
4.3.2 Anwendung der Transmissionselektronenmikroskopie (TEM) im Abbildungs- und Beugungsmodus	71
4.3.3 Analytische Elektronenmikroskopie	75
5. Charakterisierung der Cu / -Al₂O₃-Grenzfläche nach Auslagerung in verschiedenen O₂-Partialdrücken (p_{O_2})	79
Ergebnisse und Auswertung	
5.1 Auslagerung der Cu / α-Al₂O₃-Verbunde bei einem Sauerstoffpartialdruck von $p_{O_2} = 0,02$ Pa (Bereich 1)	81

5.1.1 Untersuchungen an Bruchflächen der ausgelagerten Cu / α-Al₂O₃-Bikristalle	81
5.1.2 Charakterisierung von Cu / α-Al₂O₃-Querschnittsproben mit Hilfe der CTEM	87
5.1.3 Analytische und hochauflösende TEM an Cu / α-Al₂O₃-Grenzflächen	93
5.2 Auslagerung der Cu / α-Al₂O₃-Verbunde bei einem Sauerstoffpartialdruck von p_{O₂} = 32 Pa (Bereich 2)	101
5.2.1 Untersuchungen an ausgelagerten α-Al₂O₃-Bruchflächen	101
5.2.2 Charakterisierung von Cu / α-Al₂O₃-Querschnittsproben mit Hilfe der CTEM	105
5.2.3 Hochauflösende TEM an CuAlO₂-Nadeln	113
6. Entstehung und Wachstum von Poren an der Cu / α-Al₂O₃-Grenzfläche Ergebnisse und Auswertung	117
6.1 Quantitative Ermittlung des ungebundenen Grenzflächenanteils von Cu / α-Al₂O₃-Verbunden	117
6.1.1 Quantitative Bildanalyse der Grenzfläche nach dem Verschweißprozess	118
6.1.2 Quantitative Bildanalyse der Grenzfläche nach dem Auslagerungsprozess	122
6.2 Einfluss der Auslagerungsparameter auf den Anteil der gebundenen Grenzfläche	125
6.2.1 Einfluss von Druck, O₂-Partialdruck und der Anlassdauer	125
6.2.2 Einfluss von Aufheizrate	129
6.3 Berechnung der Adhäsionsarbeit durch Kontaktwinkelmessungen	133
6.4 Interpretation der Ergebnisse	139
7. Diskussion der Ergebnisse	143
7.1 Diskussion der Porenbildung und des Porenwachstums	143
7.2 Diskussion der Bildung von CuAlO₂	154

7.2.1 Vergleich der Auslagerung bei den O ₂ -Partialdrücken p _{O₂} = 0,02 Pa und p _{O₂} = 32 Pa	154
7.2.2 Ursachen der Bildung von zwei unterschiedlichen Modifikationen des CuAlO ₂	161
7.3 Diskussion des Herstellungsprozesses und Ausblick	166
Anhang	169
A1 Kalibrierung des Sauerstoffpartialdrucks	169
A2 Auslagerung von 2,2 µm-dicken Cu-Filmen auf basalorientierten α-Al ₂ O ₃ -Substraten in p _{O₂} = 32 Pa	170
A3 Gemessene Porendurchmesser und Auswertung	173
Literaturverzeichnis	175
Danksagung	
Lebenslauf	