

Inhaltsverzeichnis

Verzeichnis verwendeter Formelzeichen und Abkürzungen		XIV
1	Einleitung	1
2	Grundlegende Aspekte zur Lötbarkeit	5
2.1	Das Modell der Lötbarkeit	5
2.2	Aktuelle Aspekte zur Lötbarkeit von Aluminium	6
2.2.1	Einfluss der Lagerung auf die Lötbarkeit	6
2.2.2	Materialdickenreduzierung bei der Ofenlötung	8
3	Grundlagen und Entstehung der Oxidation	9
3.1	Einteilung der Oxidschichten	9
3.2	Thermodynamik	10
3.3	Kinetik	13
3.4	Oxidationsmodell nach Carl Wagner	14
3.5	Die Abhängigkeit der Wachstumskonstante von der Temperatur	16
3.6	Schichtwachstum	17
3.7	Fehlstellen und Gitterfehler	18
3.8	Aluminiumoxid	20
3.9	Bildung der Aluminiumoxidschicht - Oxidationsvorgang von Aluminium	22
3.10	Einfluss von Wasser auf die Oberfläche	25
3.11	Modifikationen von Aluminiumoxid	29

3.12	Umwandlungsreihenfolge von Aluminiumoxid	31
3.13	Hydratisiertes Aluminiumoxid	33
3.14	Löslichkeit von Al_2O_3 in Wasser	35
3.15	Gelatinöses Böhmit	37
3.16	Aluminiumoxid Trihydroxid	38
3.16.1	Gibbsit, $\gamma\text{-Al}(\text{OH})_3$	38
3.16.2	Bayerit, $\alpha\text{-Al}(\text{OH})_3$	38
3.16.3	Nordstrandite, $\text{Al}(\text{OH})_3$	38
3.17	Aluminiumoxid Hydroxid	38
3.17.1	Böhmit, $\gamma\text{-Al}(\text{OH})_3$	38
3.17.2	Diaspor	39
3.18	Spannungen in der Oxidschicht	39
4	Präzisierung der Aufgabenstellung zum Ofenlöten	43
4.1	Herleitung des Forschungsbedarfes	43
4.2	Vorgehensweise und Inhalt der Experimente	45
5	Versuchsbeschreibung	49
5.1	Auswahl geeigneter Versuchswerkstoffe	49
5.2	Probenvorbereitung	50
5.2.1	Flachproben	50
5.2.2	Winkelproben	51
5.3	Probenherstellung im Schutzgas-Glaslötöfen	51

5.4	Bewertung der Proben	52
5.4.1	Oxidschichtbestimmung anhand FTIR-Messung	52
5.4.2	Problematik beim Auswerten von Spektren	53
5.4.3	Grundlinienkorrektur	54
5.5	Auswertung der Spektren	57
5.5.1	Auswertung von Aluminiumoxid	57
5.5.2	Vergleichbarkeit der Spektren durch Integralwerte	61
5.5.3	Auswertung von Magnesiumoxid	61
5.5.3.1	In-situ-Messungen während des Aufheizens	62
5.5.3.2	Messung bei Raumtemperatur nach der Probenherstellung	63
5.5.4	Beurteilung der Lötqualität	63
5.6	Messung von Feuchtigkeit	64
5.7	XPS-Photoelektronen-Spektroskopie	66
5.8	TOF-SIMS Analyse	66
6	Einfluss von Feuchtigkeit beim Schutzgaslöten	67
6.1	Einflüsse der Prozessschritte bei thermischen Fügeprozessen	72
6.1.1	Versuchsbeschreibung	72
6.1.2	Versuchsergebnisse	74
6.2	Einfluss von Feuchtigkeit und Sauerstoff in der Atmosphäre auf das Oxidschichtwachstum und deren Auswirkung auf die Lötbarkeit	77

6.2.1	Versuchsbeschreibung	77
6.2.2	Versuchsergebnisse zum Oxidschichtwachstum	79
6.2.3	Zusammenfassung der Resultate zum Oxidschichtwachstum	82
6.2.4	Versuchsergebnisse zur Lötbarkeit	85
6.2.5	Zusammenfassung der Resultate zur Lötbarkeit	90
6.2.6	Diskussion der Versuchsergebnisse von Feuchtigkeit und Sauerstoff in der Schutzgasatmosphäre	90
6.3	Einfluss von Feuchtigkeit und Sauerstoff in der Atmosphäre auf das Oxidschichtwachstum während des Aufheizvorganges	95
6.3.1	Versuchsbeschreibung	95
6.3.2	Versuchsergebnisse	96
6.3.2.1	Versuchsergebnisse - Einfluss 50 ppm Feuchtigkeit	96
6.3.2.2	Vergleich 100 ppm Feuchtigkeit	98
6.3.3	Zusammenfassung der Resultate zur Oxidationsgeschwindigkeit	100
6.4	Bestimmung der Hydroxidschicht nach Wasserlagerung	102
6.4.1	Versuchsbeschreibung	103
6.4.2	Versuchsergebnisse zur Bestimmung der Hydroxidschicht	103
6.5	Einfluss von Wasserlagerung auf das Oxidschichtwachstum und deren Einfluss auf die Lötbarkeit	107
6.5.1	Versuchsbeschreibung	107
6.5.2	Zusammenfassung der Resultate zum Oxidschichtwachstum	110

6.5.3	Versuchsergebnisse zur Lötbarkeit	112
6.5.4	Zusammenfassung der Resultate zur Lötbarkeit	114
6.6	Einfluss der Wasserlagerung mit anschließender Lagerung an Normalatmosphäre auf die Oxidschicht und deren Auswirkung auf die Lötbarkeit	115
6.6.1	Versuchsbeschreibung zur Oxidschichtdicke	115
6.6.2	Versuchsergebnisse zur Oxidschichtdicke	116
6.6.3	Versuchsergebnisse zur Lötbarkeit	116
6.7	Einfluss der Wasserlagerung auf das Oxidschichtwachstum während des Aufheizvorgangs	119
6.7.1	Versuchsbeschreibung	119
6.7.2	Versuchsergebnisse	120
6.7.3	Zusammenfassung der Resultate	122
6.8	Bestimmung der Wasseraufnahme von Aluminiumoberflächen	124
6.8.1	Versuchsbeschreibung	125
6.8.2	Versuchsergebnisse	126
6.8.3	Zusammenfassung der Resultate	132
7	Modell der Wassereinlagerung	133
8	Zusammenfassung der Erkenntnisse und Ausblick	137
8.1	Erkenntnisse aus den Versuchen zur Feuchtigkeit in der Lötatmosphäre	138
8.2	Erkenntnisse aus dem Modell der Wassereinlagerung	138
8.3	Ausblick	139

9	Literaturverzeichnis	141
10	Abbildungsverzeichnis und Tabellenverzeichnis	149
10.1	Abbildungsverzeichnis	149
10.2	Tabellenverzeichnis	161
11	Anlagen	164
11.1	Anlagenverzeichnis	164
11.2	Winkelproben gelötet in Atmosphären mit unterschiedlichen Zusammensetzungen	165
11.3	Winkelproben gelötet nach Wasserlagerung	189
11.4	Winkelproben gelötet nach Wasserlagerung und anschließender Sauerstofflagerung	197
11.5	Zunehmende Anzahl Einzelpeaks bei längerer Wasserlagerung	203
11.6	Übersicht der Versuchsparameter	204
11.6.1	Einfluss von Feuchtigkeit und Sauerstoff in der Atmosphäre auf das Oxidschichtwachstum und deren Auswirkung auf die Lötbarkeit	204
11.6.2	Einfluss von Feuchtigkeit und Sauerstoff in der Atmosphäre auf das Oxidschichtwachstum während dem Aufheizprozess	206
11.6.3	Bestimmung der Hydroxidschicht nach Wasserlagerung	207
11.6.4	Einfluss von Wasserlagerung auf das Oxidschichtwachstum und deren Einfluss auf die Lötbarkeit	208
11.6.5	Einfluss der Wasserlagerung mit anschließender Lagerung an Normalatmosphäre auf die Oxidschicht und deren Auswirkung auf die Lötbarkeit	210

11.6.6	Einfluss der Wasserlagerung auf das Oxidschichtwachstum während des Aufheizvorgangs	212
11.6.7	Bestimmung der Wasseraufnahme von Aluminiumoberflächen	213