



Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	17
2	Stand der Technik	21
2.1	Grundlagen von Wärmedämmschichten	22
2.1.1	Wärmedämmschichtsysteme	22
2.1.2	Zirkonoxid als Wärmedämmschicht	28
2.2	Beschichtungsverfahren	30
2.2.1	Atmosphärisches Plasmaspritzen	31
2.2.2	Elektronenstrahlverdampfen	33
2.2.3	Gasflussputtern	36
2.3	Entstehung von PVD-Schichten	41
2.3.1	Schichtwachstum und Strukturzonenmodelle	42
2.3.2	Textur kolumnarer WDS	51
2.4	Kenntnisstand Gasflussputtern	55
2.5	Versagen von Wärmedämmschichten	58
3	Experimentelle Methoden	65
3.1	Verwendetes Schichtsystem	65
3.2	Herstellung von vollstabilisiertem Zirkonoxid	67
3.2.1	Beschichtungsanlage HK1	67



3.2.2	Substratvorbereitung und Beschichtungsprozess	69
3.2.3	Variation von Sauerstofffluss und Substratvorspannung	71
3.3	Herstellung von teilstabilisiertem Zirkonoxid	73
3.3.1	Beschichtungsanlage HK8	73
3.3.2	Substratvorbereitung und Beschichtungsprozess	76
3.3.3	Variation der Prozessparameter	78
3.3.4	Variation der Substratoberfläche	79
3.4	Verhalten unter thermischer Last	81
3.4.1	Beschreibung des Zyklierofens	81
3.4.2	Sinterversuche	83
3.4.3	Thermische Zyklerversuche	84
3.5	Schichtcharakterisierung	86
3.5.1	Schlifferstellung	86
3.5.2	Kryogene Brucherzeugung	87
3.5.3	Aufsichten der Oberflächen	88
3.5.4	Ermittlung des mittleren Säulendurchmessers	88
3.5.5	Ermittlung der Beschichtungsrate	89
3.5.6	Ermittlung der relativen Dichte	89
3.5.7	Röntgenbeugung	90
3.5.8	Elektronenstrahlmikroanalyse	91
4	FSZ-Wärmedämmschichten	93
4.1	Schichtzusammensetzung	93
4.2	Beschichtungsrate	96
4.3	Schichtmorphologie	98
4.3.1	Einfluss des Sauerstoffflusses	98
4.3.2	Einfluss der Substratvorspannung	102



5	PSZ-Wärmedämmschichten	109
5.1	Schichthomogenität	110
5.2	Einfluss der Prozessparameter	116
5.2.1	Substrattemperatur	117
5.2.1.1	Schichtzusammensetzung . . .	117
5.2.1.2	Beschichtungsrate und Porosität	118
5.2.1.3	Morphologie	120
5.2.2	Substratvorspannung	132
5.2.2.1	Beschichtungsrate und Dichte .	133
5.2.2.2	Morphologie	134
5.2.2.3	Bias als Substitution für eine höhere Substrattemperatur . .	140
5.2.3	Sauerstofffluss	141
5.2.4	Quellenleistung	148
5.2.5	Kammerdruck	149
5.3	Einfluss der Substratoberfläche	152
5.3.1	Substratrauheit	153
5.3.2	Bekeimung	157
6	Mechanismen der Mikrostrukturentstehung	161
6.1	Kolumnare Mikrostruktur und Selektionsprozesse	161
6.2	Einfluss der Prozessparameter	167
6.2.1	Grundmikrostruktur	168
6.2.2	Beeinflussung der Grundmikrostruktur .	176
7	Verhalten unter thermischer Last	179
7.1	Sinterverhalten	179
7.2	Thermische Zyklerversuche	193
7.2.1	FSZ-Schichten	193
7.2.2	PSZ-Schichten	201
7.2.3	Aufklären der Versagensmechanismen .	213



Inhaltsverzeichnis

7.3	Versagenshypothesen	219
7.4	Ansätze zur Erhöhung der Lebensdauer	225
7.4.1	Vermeidung des Mischoxides	225
7.4.2	Vermeidung des Spinells	230
8	Potential des GFS für WDS	235
8.1	Eingrenzung günstiger Parametersätze	236
8.2	Schichtauswahl	239
9	Zusammenfassung und Ausblick	243
A	Übersicht über die Prozessparameter	253
B	Messung der Eigenspannung	259
C	Abbildungen	261
D	Abkürzungsverzeichnis	265
E	Internes Bildnummernverzeichnis	267
F	Literaturverzeichnis	279