

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	i
Symbol- und Abkürzungsverzeichnis	iii
Abbildungsverzeichnis	vii
Tabellenverzeichnis	xvii
1 Einleitung und Motivation	1
2 Zielsetzung und Vorgehensweise	5
3 Stand der Technik	9
3.1 Materialkunde	9
3.1.1 Eigenschaften von Silizium	9
3.1.2 Herstellung von monokristallinem Silizium	10
3.1.3 Verfahren zur Vereinzelung von monokristallinem Silizium	12
3.1.4 Weiterverarbeitung der Siliziumchips	16
3.1.5 Wissenschaftlichen Veröffentlichungen im Bereich der Materialbearbeitung von Silizium mit ultrakurz gepulster Laserstrahlung mit Relevanz für diese Arbeit	16
3.2 Eigenschaften von ultrakurz gepulster Laserstrahlung	18
3.3 Optische Grundlagen	20
3.3.1 Strahleigenschaften	20
3.3.2 Polarisierung	23
3.3.3 Strahlformung	26
3.3.4 Pulsabstand und Pulsüberlapp	26
3.4 Wechselwirkung von Laserstrahlung und Materie	27
3.4.1 Absorptionsverhalten	27
3.4.2 Thermische Durchdringung	28
3.4.3 Wechselwirkung von Laserstrahlung mit Silizium	30
3.4.4 Einordnung des Sublimationsschneidens in die Fertigungsverfahren	35
4 Experimentelle Grundlagen	37
4.1 Methode zur Ermittlung der Abtragungsschwelle	37
4.2 Verwendete Laserstrahlquellen	38
4.3 Verwendete Systemaufbauten	39
4.4 Erklärung des Analogieversuches und der Probenaufbereitung	40
4.5 Statistische Analyse der Einflussfaktoren	43

5	Experimentelle Untersuchungen	49
5.1	Ausgangssituation und Charakteristik des Abtragsverhaltens	49
5.1.1	Ansatz zur Entstehung der Abtragsgeometrie	49
5.1.2	Validierung des Abtragmodells anhand experimenteller Ergebnisse	52
5.1.3	Erklärung von Abtragsphänomenen	57
5.1.4	Fazit	59
5.2	Einflussfaktoren auf das Aspektverhältnis	59
5.2.1	Spitzenintensität	61
5.2.2	Wellenlänge	62
5.2.3	Pulsdauer	69
5.2.4	Strahlprofil	73
5.2.5	Polarisationsrichtung	79
5.2.6	Pulsabstand	82
5.2.7	Fazit	88
5.3	Hybridversuche mit lokaler Erhöhung der Substrattemperatur in der Schnittfuge mittels koaxial eingestrahler Dauerstrichlaserstrahlung	89
5.3.1	Versuchsaufbau	89
5.3.2	Berechnung der Temperaturverteilung	90
5.3.3	Thermografische Analyse der Temperaturverteilung	95
5.3.4	Untersuchungen zur Abtragsschwelle	98
5.3.5	Untersuchungen zum Aspektverhältnis	100
5.3.6	Qualitative Bewertung des Abtragsgeometrien	108
5.3.7	Fazit	111
6	Schlussfolgerungen	115
7	Sublimationsschneiden von Silizium mit ultrakurz gepulster Laserstrahlung in der industriellen Anwendung	121
8	Zusammenfassung und Ausblick	125
8.1	Zusammenfassung	125
8.2	Ausblick	128
9	Literatur- und Quellenverzeichnis	129
10	Anhang	137
10.1	Grundlagen der FEM-Berechnung in COMSOL Multiphysics	137
10.2	Erzeugung gepulster Laserstrahlung	138
10.3	Einordnung des Sublimationsschneiden in die Fertigungsverfahren	140
10.4	Materialkunde Halbleiter	143