

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Grundlagen der Kristallzüchtung und Photovoltaik	4
2.1	Bedeutung der Solarenergie in der Energieerzeugung	5
2.2	Aufbau einer Solarzelle	8
2.3	Kristallzüchtungsverfahren	11
2.3.1	Monokristalline Verfahren	12
2.3.2	Polykristalline Verfahren	13
2.4	Grundlagen zum Fremdstoffeinbau bei der Kristallzüchtung	15
2.5	Beeinflussung des Kristallwachstums durch externe Felder	20
3	Motivation	25
3.1	Stand der Literatur	25
3.1.1	Stand der Literatur zum Thema Vibrationen in der Kristallzüchtung	26
3.1.2	Stand der Literatur zum Thema Ultraschall in der Kristallzüchtung	27
3.2	Zielsetzung	31
4	Mathematische Grundlagen	34
4.1	Grundlagen des Ultraschalls	34
4.2	Strömungen in der Schmelze	37
4.2.1	Eckardströmung	37
4.2.2	Schlichtingströmung	40
4.3	Beschreibung des akustischen Feldes	44
4.4	Berechnung der Ultraschalldämpfung	47
5	Modellexperimente mit Ultraschall	49
5.1	Beschreibung der Ultraschallanlage	51
5.1.1	Generator und Piezokeramik	51
5.1.2	Auswahl eines geeigneten Schallleiters	52
5.1.3	Aufbau der Ultraschalleinheit	53
5.2	Tischexperimente mit Wasser als Modellflüssigkeit	55

5.3	Experimente am Modellofen mit Germanium	58
6	Numerische Untersuchung der Schmelzenbeeinflussung durch Ultraschall	66
6.1	Vorstellung des numerischen Modells	66
6.1.1	Berechnung des akustischen Feldes	67
6.1.2	Berechnung der Schlichtingströmung	68
6.1.3	Berechnung der globalen Strömung	69
6.2	Ergebnisse der Simulation	70
6.2.1	Ergebnisse für unterschiedliche Frequenzen	70
6.2.2	Ergebnisse für unterschiedliche Schallleiterdurchmesser	76
6.2.3	Ergebnisse für ringförmige Schallleiter	81
6.2.4	Ergebnisse für die Überlagerung mit einem Wandermagnetfeld	88
6.3	Erzeugung transienter Schallfelder	92
6.3.1	Transientes Schallfeld durch zunehmende Kristallhöhe	92
6.3.2	Transientes Schallfeld durch variierende Frequenz	94
7	Numerische Untersuchung der Schmelzenbeeinflussung durch Vibrationen	96
7.1	Beschreibung der Ausgangssituation	96
7.2	Vorstellung des numerischen Modells	97
7.3	Ergebnisse der Simulation	99
7.3.1	Stationäre Strömungssimulation ohne Vibrationen	100
7.3.2	Transiente Strömungssimulation mit Vibrationen	102
8	Zusammenfassung	106
9	Ausblick	110
	Literaturverzeichnis	112