

# Inhaltsverzeichnis

<b>1 Einleitung</b>	<b>1</b>
<b>2 Grundlagen der Kristallzüchtung und Photovoltaik</b>	<b>4</b>
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
<b>3 Motivation</b>	<b>25</b>
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
<b>4 Mathematische Grundlagen</b>	<b>34</b>
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
<b>5 Modellexperimente mit Ultraschall</b>	<b>49</b>
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

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