

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung.....	1
2 Grundlagen und aktuelle Forschungsthemen.....	5
2.1 Das Material Silicium.....	5
2.1.1 Defekte in Silicium	7
2.1.2 Silicium für Solarzellen	13
2.2 Gerichtete Erstarrung von Silicium	14
2.2.1 Vertical Gradient Freeze-Verfahren	15
2.2.2 Entstehung der Kristallstruktur.....	18
2.2.3 Entwicklung der Kristallstruktur.....	23
3 Experimentelle Methoden.....	33
3.1 Gerichtete Erstarrung nach dem Vertical-Gradient-Freeze-Verfahren	33
3.1.1 Aufbau der Kristallisationsanlage.....	33
3.1.2 Prozesskontrolle	36
3.1.3 Thermisches Rezept.....	37
3.1.4 Zuführung von flüssigem Silicium.....	40
3.2 Herstellung von Säulen und Wafern.....	41
3.3 Charakterisierungsmethoden.....	42
3.3.1 Infrarot-Durchleuchtung.....	43
3.3.2 Qualitative Bestimmung der Minoritätsladungsträgerlebensdauer	44
3.3.3 Messungen des spezifischen Widerstandes	45
3.3.4 Bestimmung von Kohlenstoff und Sauerstoff mittels FTIR.....	47
3.3.5 Korngeometrie	47
3.3.6 Photolumineszenz und rekombinationsaktive Versetzungen.....	49
3.3.7 Kalibrierte Lebensdauermessungen und Effizienzpotentiale	53
4 Analyse der Entwicklung struktureller Defekte	55
4.1 Versuchsdurchführung.....	55

4.2 Verunreinigungseinträge aus Tiegel- und Ofenumgebung.....	59
4.2.1 Dotierstoffe	59
4.2.2 Kohlenstoff und Sauerstoff	63
4.2.3 Metallische Verunreinigungen	65
4.3 Einfluss der mittleren Korngröße des Keimmaterials	67
4.3.1 Korngrößenverteilung.....	67
4.3.2 Hpm Keimplatten mit verschiedenen Korngrößen	71
4.3.3 Monokristalline Stäbchen verschiedener Größen	86
4.4 Einfluss der Dimension des Keims	97
4.4.1 Variation der vertikalen Dimension.....	98
4.4.2 Variation des dreidimensionalen Gefüges	105
4.5 Einfluss der inneren Struktur des Keims	109
4.5.1 Definierte Korgrenzen	109
4.5.2 Mono- oder Multikristallinität der Keimvorgabe	122
4.5.3 Hpm oder klassische mc Struktur	130
5 Diskussion der Defektstrukturentwicklung	139
5.1 Parametrisierung der Kristallstruktur.....	139
5.2 Optimierung der Materialqualität	143
5.3 Entwicklung struktureller Defekte	146
5.3.1 Übertragbarkeit existierender Kornstrukturmodelle.....	147
5.3.2 Erweiterung auf Kornstruktur- und Versetzungsentwicklung	151
6 Nachchargieren von flüssigem Silicium	157
6.1 Schmelzverhalten und Rezeptentwicklung	157
6.2 Kristallisation der Größe G2	161
6.3 Wirtschaftliche Bewertung	175
7 Zusammenfassung und Ausblick.....	179
A. Variierte Keimparameter der Kristallisationen	183
B. Prozessparameter der kristallisierten Blöcke	185

Abbildungsverzeichnis	187
Tabellenverzeichnis.....	189
Abkürzungsverzeichnis	191
Literaturverzeichnis.....	193
Liste der Veröffentlichungen.....	207
Danksagung	211