

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Physikalische und technologische Grundlagen	7
2.1	Mikrokristallines Silizium	7
2.2	Solarzellen aus mikrokristallinem Silizium	13
2.2.1	Aufbau und Funktionsweise	13
2.2.2	Lichtfallen	15
2.2.3	Charakteristische Solarzellengrößen	16
2.3	Herstellung von mikrokristallinen Siliziumschichten	21
2.3.1	Plasmaphysikalische Grundlagen des PECVD-Verfahrens	21
2.3.2	Das PECVD-Verfahren	24
3	Experimentelle Methoden	27
3.1	Präparation von $\mu\text{c-Si:H}$ Solarzellen	27
3.1.1	PECVD-Anlage zur Beschichtung von $30\times 30\text{ cm}^2$ Substraten	27
3.1.2	PECVD-Anlage zur Beschichtung von $10\times 10\text{ cm}^2$ Substraten	29
3.1.3	Präparation der Front- und Rückkontakte	30
3.2	Charakterisierung von $\mu\text{c-Si:H}$ Solarzellen	32
3.2.1	IV-Kennlinienmessung	32
3.2.2	Externe Quanteneffizienz	34
3.2.3	Schichtdickenmessung	35
3.3	Charakterisierung von $\mu\text{c-Si:H}$ Einzelschichten	35
3.3.1	Raman-Spektroskopie	35
3.3.2	Infrarot-Spektroskopie	37
3.3.3	Dunkel- und Photoleitfähigkeitsmessung	38
3.3.4	Hall-Messung	38
3.3.5	Sekundärionen-Massenspektrometrie	39
3.4	In-situ Charakterisierung von $\mu\text{c-Si:H}$ Herstellungsprozessen	39
3.4.1	Optische Emissionsspektroskopie	39
3.4.2	Messung der DC-Bias Spannung	40

4	PECVD-Hochratenprozesse für großflächige $\mu\text{c-Si:H}$ Abscheidungen	41
4.1	Einfluss der Plasmaanregungsfrequenz auf das $\mu\text{c-Si:H}$ Depositionsregime	42
4.2	40,68 MHz Prozesse für Depositionsraten bis 1,5 nm/s	45
4.2.1	Ermittlung von geeigneten Depositionsdrücken in Abhängigkeit des Elektrodenabstandes und der Plasmaleistung	45
4.2.2	Untersuchungen zum Einfluss der Anregungsfrequenz auf die $\mu\text{c-Si:H}$ Abscheidungsrate	52
4.3	40,68 MHz Prozesse für Depositionsraten zwischen 2 und 2,7 nm/s	55
4.4	Zusammenhang zwischen $\mu\text{c-Si:H}$ Solarzellenwirkungsgrad und Depositionsrate	58
4.5	Untersuchungen zur Abscheidungshomogenität auf $30\times 30\text{ cm}^2$ Substraten	59
4.6	Transfer von 13,56 MHz Prozessen zur Beschichtung von $138\times 80\text{ cm}^2$ Substraten	64
4.7	Diskussion	66
4.8	Zusammenfassung	71
5	Prozesskontrolle bei großflächigen $\mu\text{c-Si:H}$ Herstellungsprozessen	73
5.1	Zusammenhang zwischen Gesamtgasfluss und Monosilan-Ausnutzungsgrad	74
5.2	Interpretation des optischen Emissionsspektrums von $\mu\text{c-Si:H}$ Depositionsplasmen	77
5.3	Analyse konventioneller $\mu\text{c-Si:H}$ Herstellungsprozesse	79
5.3.1	Klassifizierung und physikalische Interpretation von unterschiedlichen $\mu\text{c-Si:H}$ Prozessdrifts	79
5.3.2	In-situ Charakterisierung von konventionellen $\mu\text{c-Si:H}$ Herstellungsprozessen	81
5.4	Einsatz von Prozesskontrolle	82
5.4.1	Entwicklung von $\mu\text{c-Si:H}$ Herstellungsprozessen mit hohem Monosilan-Ausnutzungsgrad	86
5.4.2	Vergleich der $\mu\text{c-Si:H}$ Struktureigenschaften bei Abscheidungen mit und ohne Prozesskontrolle	90
5.4.3	Vergleich der $\mu\text{c-Si:H}$ Schichthomogenität bei Abscheidungen mit und ohne Prozesskontrolle	93
5.5	Diskussion	96
5.6	Zusammenfassung	101
6	Einfluss von atmosphärischen Verunreinigungen	103
6.1	Quellen und Ursachen von Verunreinigungen in der $\mu\text{c-Si:H}$ Absorberschicht	104
6.2	Atmosphärische Verunreinigungen infolge eines Luftlecks	106
6.2.1	Zusammenhang zwischen Luftleckstärke und $\mu\text{c-Si:H}$ Solarzellenperformance	107
6.2.2	Einfluss der Absorberschichtdicke auf die Sauerstoff- und Stickstoffempfindlichkeit	110
6.2.3	Einfluss der lokalen Verteilung atmosphärischer Verunreinigungen innerhalb der Absorberschicht	111
6.3	Einfluss von Sauerstoff	113
6.3.1	Einfluss von Sauerstoff auf die $\mu\text{c-Si:H}$ Solarzellenperformance	114

6.3.2	Einfluss von Sauerstoff auf die Materialeigenschaften von mikro- kristallinem Silizium	115
6.4	Einfluss von Stickstoff	120
6.4.1	In-situ Detektion von Stickstoff-Verunreinigungen mittels optischer Emissionsspektroskopie	120
6.4.2	Einfluss von Stickstoff auf die $\mu\text{c-Si:H}$ Solarzellenperformance	122
6.4.3	Einfluss von Stickstoff auf die Materialeigenschaften von mikro- kristallinem Silizium	126
6.5	Diskussion	129
6.6	Zusammenfassung	131
7	Zusammenfassung und Ausblick	133
	Literaturverzeichnis	140