

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	6
1.1	Motivation	6
1.2	Zielsetzung der Arbeit und Abgrenzung zum Stand der Technik	8
1.3	Gliederung	10
2	Theoretische Grundlagen und historischer Überblick	12
2.1	Lumineszenz-Imaging „in einfachen Worten“	12
2.2	Rate der strahlenden Rekombination in Silicium	15
2.3	Koeffizient der strahlenden Rekombination	17
2.4	Waferparameter und Lumineszenzintensität	18
2.5	Analytisches Modell für eindimensionalen Fall	19
2.6	Zusammenfassung wichtiger Proportionalitäten	24
2.6.1	Lumineszenzsignal und effektive Lebensdauer	24
2.6.2	Lumineszenzsignal und lokale Spannung	25
2.7	Historischer Überblick	25
2.7.1	Absorptionskoeffizient von Silicium	25
2.7.2	Effektive Lebensdauer und Spannung	26
2.7.3	Bildgebende Verfahren	26
3	Charakterisierung des Messaufbaus	30
3.1	Komponenten des Messaufbaus	30
3.2	Messaufbaucharakterisierung	33
3.2.1	Photonenstrommessung	33
3.2.2	Laterale Homogenität der Laserausleuchtung	36
3.2.3	Laterale Inhomogenitäten aufgrund optischer Artefakte	37
3.2.4	Bildkorrektur	38
3.3	Kontaktierungsrahmen	40
3.4	Zusammenfassung	43
4	Numerische Simulation von Lumineszenzintensitäten	45
4.1	1-dimensionale Modellierung der Lumineszenzintensität . . .	45
4.1.1	Optische Filter und Kamera	46
4.1.2	Rate der strahlenden Rekombination	46
4.1.3	Austrittswahrscheinlichkeit	47

4.2	PL-Master Software	48
4.2.1	Beschreibung der Software	49
4.3	Anwendungsbeispiel	50
5	PL-Imaging an as-cut Wafern	54
5.1	Einführung	54
5.2	Mögliche Gründe für Korn-zu-Korn Kontraste in PL-Bildern .	55
5.3	Probenpräparation	56
5.4	Ergebnisse	57
5.5	Diskussion	61
5.6	Zusammenfassung und Ausblick	62
6	Lumineszenz-Imaging als Vehikel für die Prozessentwicklung	63
6.1	Vorgehen zur Prozessoptimierung mittels PL-Imaging	63
6.2	Einfluss des Hochtemperaturschrittes auf iVoc-Proben	65
6.2.1	Herstellung von iVoc-Proben	65
6.2.2	Anwendung auf den hergestellten Probensatz	67
6.3	Bewertung des CKI-Prozesses mittels Lumineszenz-Imaging .	72
6.3.1	Wasserstoffrückstände direkt nach Prozessierung . . .	72
6.3.2	Anwendung der CKI-Prozesskontrolle auf Probensatz	73
6.4	Zusammenfassung	74
7	Bildgebende Methoden an fertigen Solarzellen	77
7.1	Die C-DCR Methode	77
7.1.1	Das Modell unabhängiger Dioden	77
7.1.2	Nomenklatur für lumineszenzbasierte Methoden	78
7.1.3	Die C-DCR Methode	80
7.2	Kalibrierung der Lumineszenzbilder auf lokale Diodenspannung	82
7.2.1	Diodenspannung und Quasi-Ferminiveau-Aufspaltung	82
7.2.2	Ermittlung der lokalen Diodenspannung	84
7.2.3	Diodenspannung für geringe Anregungsbedingungen .	86
7.3	Optimale Arbeitspunkte für C-DCR Methode	90
7.4	PL Bildevaluation auf Basis der implizierten Spannung	95
7.4.1	Implizierte Spannung und Diodenspannung	95
7.4.2	PL-imp Bildauswertung	97
7.5	Anwendungen der PL-imp Methode	99
7.5.1	Vergleich der PL-imp und der C-DCR Methode	99
7.5.2	PL-imp zur orts aufgelösten Kurzschlussstrommessung	101
7.6	Zusammenfassung	105

8	EL-basierte Qualitätskontrolle von Inline-IV-Messungen	106
8.1	Simulationsumgebung für vollflächige EL-PL-Bildsimulation .	107
8.1.1	Einführendes Ersatzschaltbild	107
8.1.2	Vollflächige Simulation von EL- und Rs-Bildern	111
8.1.3	Einfluss von Kontaktierungsszenarien auf Füllfaktoren	115
8.1.4	Limitierungen des vorgestellten Modells	117
8.2	EL und IV-Messungen und Vergleich mit Simulationen	118
8.3	EL-basierte Qualitätskontrolle von IV-Messungen	122
8.4	Bisherige Gütekontrolle von IV-Messungen	125
8.5	Zusammenfassung	128
9	Bildkorrektur für inline PL-Imaging	129
9.1	Beschreibung des Inline-Messmoduls	129
9.2	Injektionsberücksichtigende Bildkorrektur	131
9.2.1	Injektionsbedingungen bei PL-Messungen im AWIS .	131
9.2.2	Intensitätsprofil für hohe Injektionsmaße	132
9.2.3	Korrekturfunktion für hohe Injektionsmaße	133
9.3	Anwendung der Bildkorrektur auf Beispieldatensatz	134
9.4	Zusammenfassung	135
10	Zusammenfassung und Ausblick	137
11	Literaturverzeichnis	141
12	Anhang	158
13	Publikationsliste	169
14	Danksagungen	171