

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 ortsaufgelösten 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 |