

Dipl.-Ing. Uwe Creutzburg, Bremen

**Berührungslose Meßverfahren
zur Bestimmung von Silizium-
Materialeigenschaften
für Solarzellenanwendungen**

Reihe **21**: Elektrotechnik

Nr. **90**

Inhaltsverzeichnis

0. Einleitung	1
1. Meßverfahren zur Bestimmung der Trägerlebensdauer	5
1.1 Messung von Volumeneffekten	6
1.2 Messung an Oberflächen	9
1.3 Transiente vs. statische Methoden	11
1.4 Berührungsfreie Messungen vs. Messungen an Anschlüssen	12
1.5 Messung lokaler Größen	12
2. Rekombinationsmechanismus	15
2.1 Niedrige Injektion	17
2.2 Hohe Injektion	18
2.3 Übergang von niedriger zu hoher Injektion	19
2.4 Lage der Rekombinationszentren	20
3. Berechnung des TRMC-Signals aus einem Schichtmodell	23
3.1 Leitungsmodell zum TRMC-Verfahren	25
3.2 Eingrenzung der Leitfähigkeitsmodulation bei Berücksichtigung halbleiterspezifischer Randbedingungen	30
3.3 Zusammenhang von Reflexionsfaktor und Leitfähigkeit bei Ein- haltung von niedriger Injektion	31
3.4 Erweiterung des Leitungsmodells	33
4. Ladungsträgerdiffusion und -kinetik	36
4.1 Anharmonische Fourier-Reihen	38
4.2 Abklingvorgang bei hoher Oberflächen-Rekombinationsge- schwindigkeit	39
4.3 Abklingvorgang bei niedriger Oberflächen-Rekombinationsge- schwindigkeit	42
4.4 Abschätzung der minimalen Trägerlebensdauer bzw. maximalen Oberflächen-Rekombinationsgeschwindigkeit aus dem expo- nentiellen Abklingvorgang	44
4.5 Bestimmung der Oberflächen-Rekombinationsgeschwindigkeit und der Trägerlebensdauer aus der Abweichung des Abkling- vorganges von einer Exponentialfunktion	45
4.6 Trägerlebensdauerermessungen in polykristallinem Material	48
5. Verknüpfung von Trägerdiffusion und Leitungsmodell	51
5.1 Das Mikrowellenfeld im Halbleiter	51

5.2	Die Gewichtsfunktion eines allgemeinen Netzwerks	53
5.3	Die Gewichtsfunktion des Leitungsmodells	57
5.4	Berechnung des TRMC-Signals	58
5.5	Auswirkung zusätzlicher Schichten des Leitungsmodells auf das TRMC-Signal	61
5.6	Die Gewichtsfunktion bei unterschiedlichen Schichtfolgen des Leitungsmodells	62
5.7	Signalpegel bei realen Schichtfolgen	63
5.8	Abklingvorgänge bei realen Schichtfolgen	64
6.	Realisierter Meßplatz	66
6.1	Transientenrecorder - Board	68
6.2	Halbleiter-Puls laser	73
7.	Auswertung des TRMC-Signals	75
7.1	Darstellung der Transienten	75
7.2	Messungen an 10 [Ohm cm] n-Typ Halbleitern	77
7.3	Halbleiter mit 500 μ m Probendicke	78
7.4	Halbleiter mit 1000 μ m Probendicke	80
7.5	Halbleiter mit 2000 μ m Probendicke	83
7.6	Halbleiter mit 270 μ m Probendicke	87
8.	Messungen an großflächigen diffundierten Strukturen	93
8.1	Abklingvorgang an Solarzellmaterial mit Emittern	93
8.2	Abklingvorgang bei zusätzlichem Hintergrundlicht	95
9.	Einfluß des Emitters auf die Abklingfunktion	98
9.1	Analogie zwischen Emitter und Oberflächenrekombination	98
9.2	Auswirkung zusätzlicher Oberflächen-Rekombination des Emitters	101
10.	TRMC-Messungen an polykristallinem Solarzellenmaterial	103
10.1	Trägerlebensdauertopographie	103
10.2	Verteilungsdichte gemessener Trägerlebensdauern	107
11.	Zusammenfassung	109
12.	Literaturverzeichnis	112
Anhang A.	Liste verwendeter Formelzeichen	115