

# Ortsaufgelöste Solarzellencharakterisierung mittels Lockin-Thermografie

K. RAMSPECK, K. BOTHE, R. BRENDEL  
Institut für Solarenergieforschung, Hameln / Emmerthal

**Kurzfassung.** Mit der Entwicklung schneller, hochauflösender Wärmebildkameras ist die Lock-in Thermographie im Laufe des vergangenen Jahrzehnts zu einer wichtigen, ortsaufgelösten und schnellen Charakterisierungsmethode für Solarzellen avanciert.

Die Lock-in Thermographie erlaubt die Detektion der lateralen Verteilung der Verlustleistungen in Solarzellen. Diese Verluste können durch eine lokal erhöhte Rekombination von Ladungsträgern, auf Grund von Kurzschlüssen in der Zelle, lateralen Variationen der Materialqualität oder mechanischen Defekten entstehen. Eine weitere Quelle sind Stromflüsse durch Ohmsche Widerstände bei der Extraktion der Ladungsträger aus der Zelle.

Für eine quantitative Analyse der Verlustleistungen wird das über die gesamte Zellfläche integrierte Messsignal mit der in der Zelle dissipierten Gesamtleistung verglichen und ermöglicht es den Einfluss einzelner geschädigter Bereiche auf die Leistung der Zelle zu bestimmen. Da die Ursachen erhöhter Verlustleistungen vielfältig sind ist es von besonderer Bedeutung verschiedene Verlustmechanismen unterscheiden zu können. Lock-in Thermografie bei unterschiedlichen Messbedingungen liefert ein Signal das sensitiv auf einzelne dieser Mechanismen ist. So können Kurzschlüsse an Zellen analysiert werden wenn eine Spannung in Sperrrichtung der Diode angelegt wird. Um Verluste an Ohmschen Widerständen im Strompfad zu bestimmen wird die Zelle während der Messung kurzgeschlossen und mit möglichst intensivem Licht beleuchtet. Variationen der Materialqualität werden bei hohen Spannungen in Durchlassrichtung der Diode detektiert. Messungen an verschiedenen Arbeitspunkten der Zelle werden dazu verwendet ortsaufgelöste Strom-Spannungs-Kennlinien der Dioden zu bestimmen.

Ortsauflösung und Messzeit bei Lock-in Thermographie werden bestimmt durch die Lock-in Frequenz, die Integrationszeit und die Messbedingungen. Die benötigte Messzeit hängt von der Leistungsdichte der Verluste in der Zelle sowie der Lock-in Frequenz ab und kann zwischen wenigen Sekunden und einigen Stunden variieren. Die Ortsauflösung bei der Charakterisierung von Standardsolarzellen mit 156mm Kantenlänge beträgt ca. 650  $\mu\text{m}$  und wird durch die thermische Diffusionslänge und die Anzahl der Pixel im Detektor limitiert. Mit Hilfe eines Mikroskopobjektivs können auf geeigneten Proben Ortsauflösungen bis zu 10  $\mu\text{m}$  erreicht werden.

O. Breitenstein und M. Langenkamp, Lock-in Thermography, (Springer, Berlin, 2003)

J. Isenberg und W. Warta, J. Appl. Phys. 95, 5200 – 5209 (2004)

M. Bail, J. Kentsch, R. Brendel und M. Schulz, Proceedings of the 28th Photovoltaic Specialists Conference, Anchorage, AK (IEEE, New York, 2000), p. 99

M. Kaes, S. Seren, T. Pernau und G. Hahn, Prog. Photovoltaics 12, 355 – 363 (2004)

K. Ramspeck, K. Bothe, D. Hinken, B. Fischer, J. Schmidt und R. Brendel, Appl. Phys. Lett. 90, 153502 (2007)