

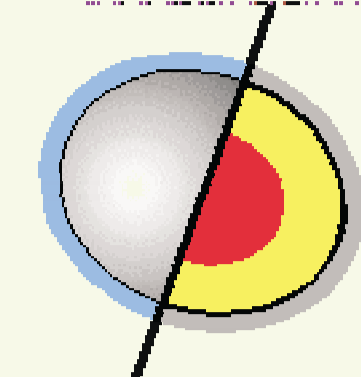
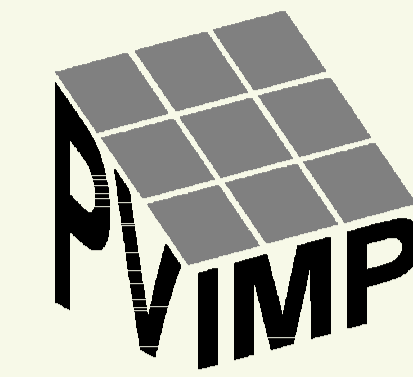
Optische Bestimmung von lokalen Schwankungen der Ladungsträgerdichte in multikristallinen Siliziumsolarzellen

V. Schlosser¹⁾, M. Dineva¹⁾, W. Markowitsch¹⁾, G. Klinger²⁾, P. Bajons¹⁾, R. Ebner¹⁾, J. Summhammer¹⁾

1) Institut für Materialphysik der Universität Wien, A-1090 Wien, Austria.

2) Institut für Meteorologie und Geophysik der Universität Wien, A-1090 Wien, Austria.

3) Atominstitut der Österreichischen Universitäten, A-1020 Wien, Austria.

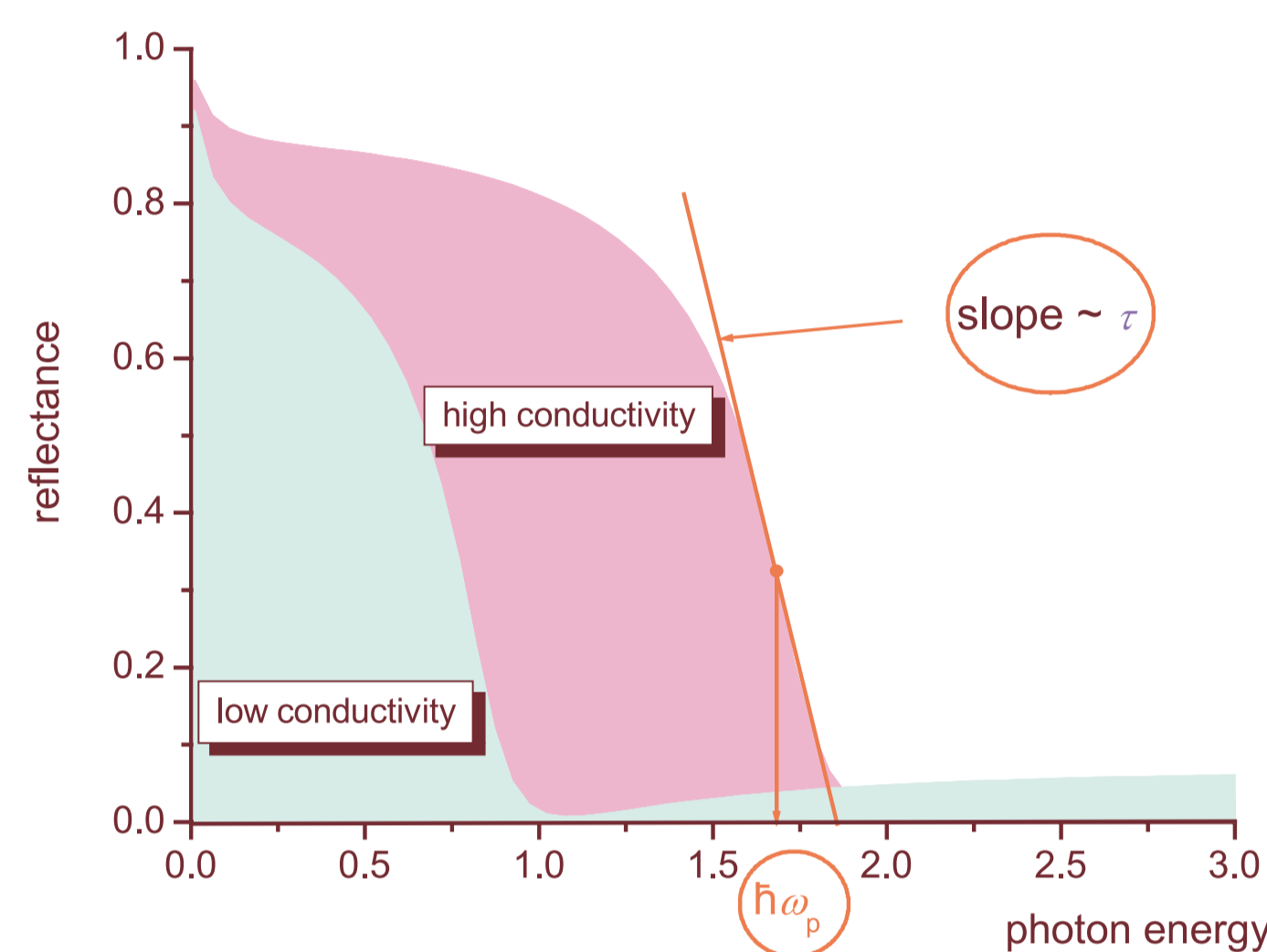


Einleitung:

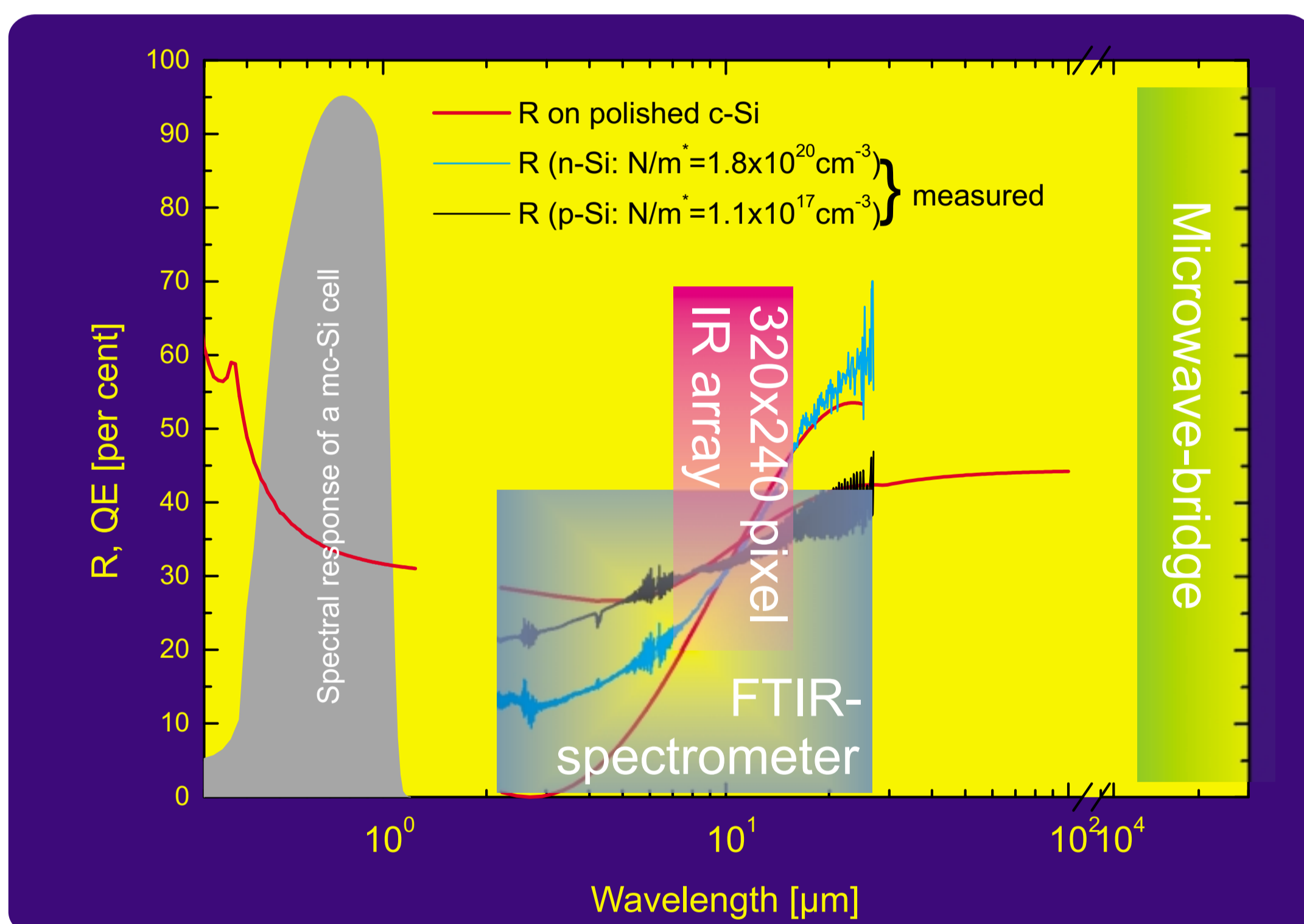
Bei der Herstellung von Solarzellen aus multikristallinem Silizium (mc-Si) ist die Kenntnis der lokalen Verteilung freier Ladungsträger sowohl während der Produktion als auch nach der Fertigstellung von großem Interesse. Zur Bestimmung der Ladungsträgerdichte sind experimentelle Verfahren vorteilhaft die berührungsfrei und schnell ablaufen. Sowohl spezielle Präparationsarbeiten als auch eine spezifische Messumgebung wie etwa Vakuum sind für einen auf hohen Durchsatz optimierten Herstellungszyklus unzulässig. Es bieten sich daher überwiegend optische Verfahren zur Charakterisierung an. In dieser Arbeit wurde die lokale durch Dotierung oder Lichtanregung festgelegte Ladungsträgerverteilung an der Oberfläche der multikristallinen Scheiben und Zellen aus Messungen der Plasmareflexion ermittelt. Verschiedene experimentelle Verfahren wurden miteinander verglichen.

Plasma Reflexion in Elektrischen Leitern

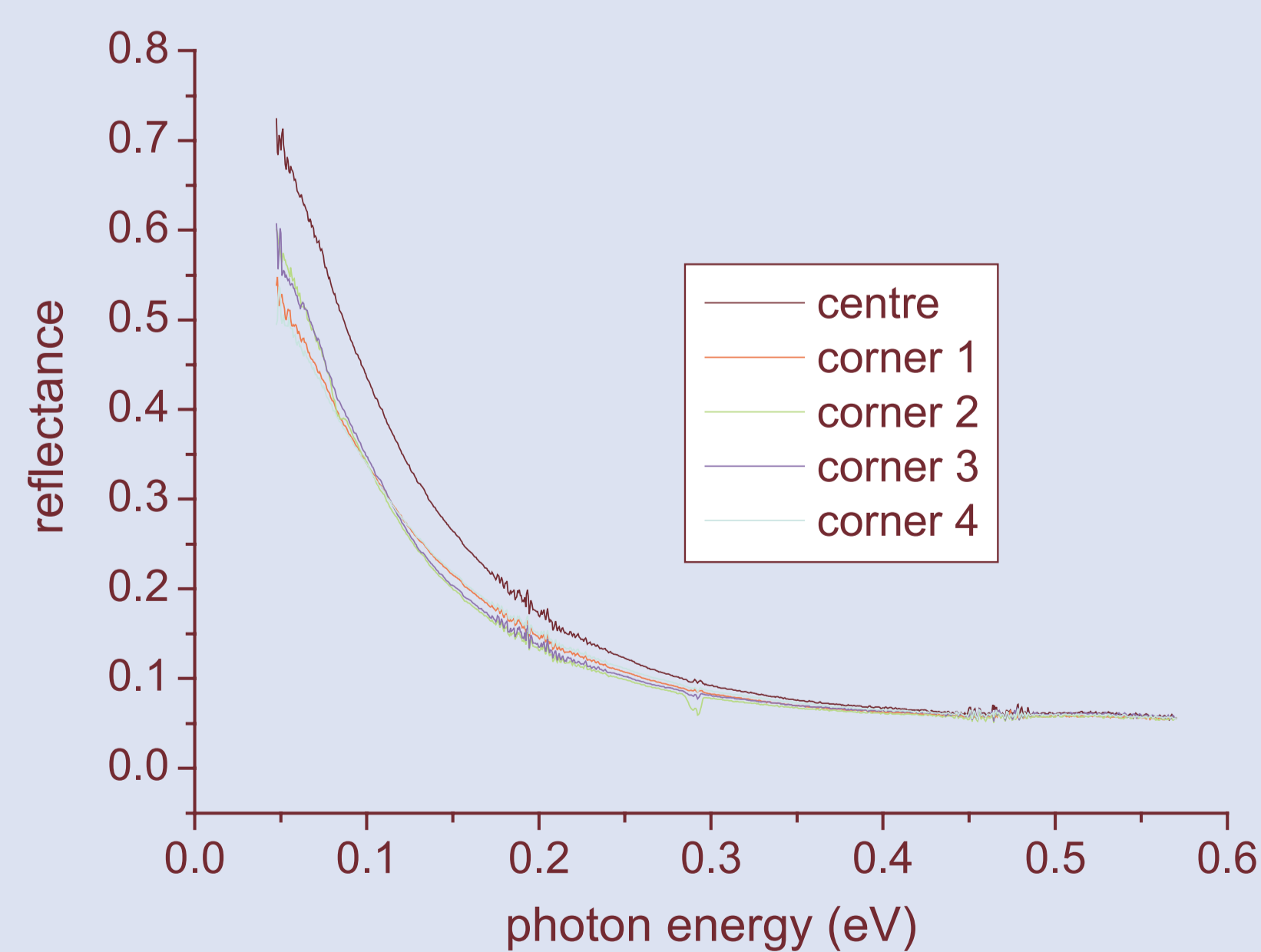
- Freie Ladungsträger ("plasma") in leitenden Materialien reflektieren elektromagnetische Wellen unterhalb der "Plasmafrequenz" ω_p .
- $\sigma_{opt} = \epsilon_0 \omega_p^2 \tau = \frac{nq^2}{m_{eff}} \tau$
- $\sigma_{cl} = nq\mu$
- Elektrische Transporteigenschaften können aus optischen Messungen im Infrarotbereich bestimmt werden.



σ ... elektrische Leitfähigkeit, τ ... Stoßzeit, μ ... Driftbeweglichkeit, n ... Ladungsträgerkonzentration, ϵ_0 ... Vakuumpermeabilität



Gemessenes und berechnetes Reflexionsvermögen von unterschiedlich dotiertem kristallinem Silizium als Funktion der Wellenlänge. Die grau schattierte Fläche kennzeichnet den Bereich der photoneninduzierten Ladungsträgergeneration. Drei experimentelle Versuchsaufbauten und ihr spektraler Arbeitsbereich sind dargestellt: (1) FTIR Spektrometer der Fa. Jasco, Typ 5300, (2) IR Thermokamera mit einer Detektormatrix der Fa. Agema, Typ 570 und (3) Eine aus diskreten Bauelementen aufgebaute Mikrowellenbrückenschaltung im Frequenzbereich von 9 GHz.



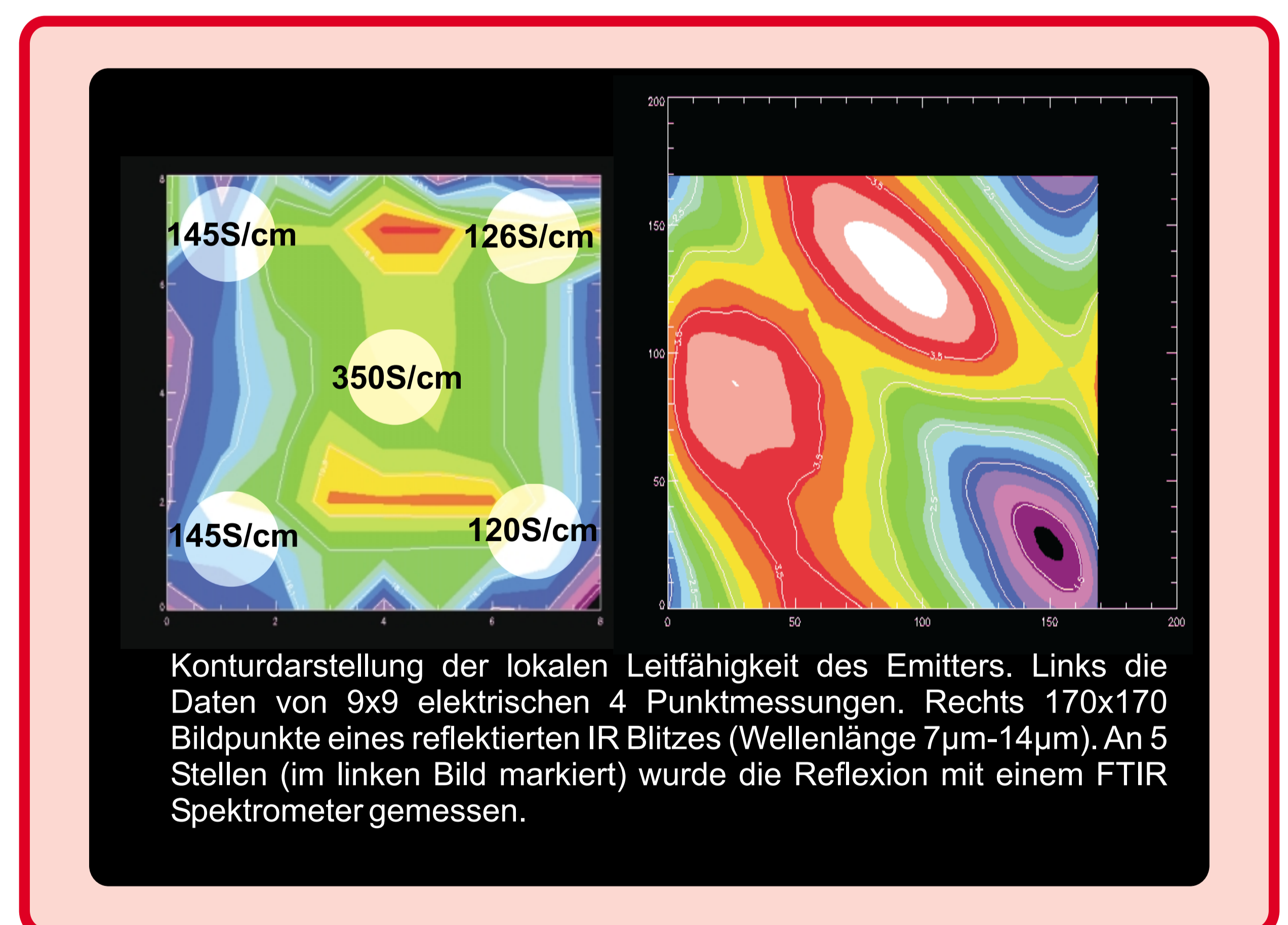
- Aus der Anpassung der gemessenen Spektren nach dem Drude-Lorentz Modell wurde die optische Leitfähigkeit σ_{opt} an mehreren etwa 1 cm^2 großen Stellen der Probe bestimmt.

Position der Scheibe	Optische Leitfähigkeit (S/cm)
centre	350
corner 1	126
corner 2	145
corner 3	145
corner 4	120

Schematischer Aufbau der Mikrowellenreflexionsmessung zur berührungslosen Bestimmung der lokalen Ladungsträgerdichte (oben) und drei Anwendungsbeispiele (rechts): Die Kornstruktur ist als Oberflächenkontrast jeweils im linken Bild dargestellt. Das rechte Bild zeigt das gerasterte Mikrowellenreflexionssignal. Die unten gezeigte Bildserie wurde an der gleichen 5x5cm Bildausschnitt einer unbehandelten Scheibe (oben), nach einer Phosphordiffusion (mitte) und nach einer Aluminiumdiffusion (unten).

Oberflächenkontrast MWLBIC

Unbehandelte Scheibe Nach der Oberflächenbehandlung Nach der Phosphordiffusion



Schlussfolgerungen:

Alle drei verwendeten Messverfahren sind berührungslos und benötigen keine präparativen Vorbereitungen. Die Messungen mit dem FTIR Spektrometer lassen eine quantitative Auswertung der optischen Leitfähigkeit und Ladungsträgerkonzentration zu. Allerdings ist die örtliche Auflösung sehr grob und erlaubt keine kornspezifische Unterscheidung. Die Bestimmung der relativen Änderung des Reflexionsvermögens in der Mikrowellenbrückenschaltung besitzt eine hohe Empfindlichkeit für lokale Schwankungen der Ladungsträgerdichte. Der Versuch einer Absolutwertbestimmung wäre grundsätzlich möglich ist aber aufgrund des experimentellen Aufbaus wenig sinnvoll. Die Thermokamera erfasst das Reflexionssignal als eine über einen Wellenlängenbereich integrierte Größe und eignet sich daher nur für Vergleichsmessungen. Empfindlichkeit und Nutzsignal zu Rauschverhältnis der Detektormatrix ist für eine hohe Auflösung der lokalen Ladungsträgerdichteschwankungen unzureichend. Sowohl Mikrowellenmessung als auch Thermokamera haben eine hinreichend hohe Ortsauflösung unterscheiden sich allerdings in der Messgeschwindigkeit. Die sequentielle Aufnahme des Signals mit der Mikrowellenbrückenschaltung ist zeitaufwendig und eignet sich daher wenig für ein routinemäßiges Kontrollverfahren im Rahmen eines industriellen Herstellungszyklus für Solarzellen. Eine Verbesserung der Detektorempfindlichkeit vorausgesetzt bietet der Einsatz einer Infrarotkamera eine rasche, da parallel ablaufende orts aufgelöste Charakterisierung der unbehandelten, teilprozessierten und fertigen Solarzellen.