

Berichtsblatt

1. ISBN oder ISSN geplant	2. Berichtsart (Schlussbericht oder Veröffentlichung) Schlussbericht
3. Titel <p style="text-align: center;">Abschlussbericht xμ-Projekt Verteilung von Verunreinigungen und Einfluss auf elektrische Eigenschaften von Solarsilizium und -zellen</p>	
4. Autor(en) [Name(n), Vorname(n)] Prof. Dr. H.J. Möller Sabine Reißerweber	5. Abschlussdatum des Vorhabens 31.03.2011
	6. Veröffentlichungsdatum geplant
	7. Form der Publikation Fachzeitschrift
8. Durchführende Institution(en) (Name, Adresse) Institut für Experimentelle Physik TU Bergakademie Freiberg Leipziger Straße 23 09596 Freiberg Deutschland	9. Ber. Nr. Durchführende Institution
	10. Förderkennzeichen 03SF0336 E
	11. Seitenzahl 14
12. Fördernde Institution (Name, Adresse) Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) 53170 Bonn	13. Literaturangaben 0
	14. Tabellen 2
	15. Abbildungen 14
16. Zusätzliche Angaben	
17. Vorgelegt bei (Titel, Ort, Datum)	
18. Kurzfassung Im Abschlussbericht der TU Bergakademie Freiberg des x μ -Projekt geht es um die Forschungsarbeit der ersten Förderphase. In der Zeit wurde am Bessy eine Weiterentwicklung der Methoden X-ray Beam Induced Current (XBIC) und X-Ray Fluorescence (XRF) durchgeführt. Insbesondere die Korrelation dieser beiden Methoden und der XBIC mit der LBIC (Light Beam Induced Current) waren dabei von besonderem Interesse. Dabei wurde zwischen der LBIC und der XBIC-Methode eine sehr gute Übereinstimmung gefunden. Somit kann man die Messungen auch an einer handelsüblichen LBIC-Anlage durchführen und muss keine XBIC durchführen. In der Korrelation zwischen XBIC und XRF konnte eine Korrelation zwischen der Verteilung verschiedener Metalle mit den elektrischen Eigenschaften des Materials festgestellt werden. Ein weiteres sehr wichtiges Feld war die Bestimmung von Basiseigenschaften der Materialien. Dabei würde zum einem im Round Robin Projekt die FTIR (Fourier-Transformations-Infrarotspektrometer) - Messaufbauten der einzelnen Institute abgeglichen. Dieses hat nach Anpassung der Parameter auch sehr gut gepasst. Zudem wurden FTIR und SPV (Surface Photovoltage) Messungen an Ingots verschiedener Hersteller und verschiedener Herstellungen durchgeführt, um die Ingot- bzw. Solarzellenprozessierung zu verbessern. Zuletzt wurden noch Bruchtests an dünnen Wafern durchgeführt. Dabei entsprach das Ergebnis der Weibull-Verteilung, die für solche Bruchtests üblich ist.	
19. Schlagwörter: x μ -Projekt, Round Robin, FTIR, SPV, Bessy	
20. Verlag	
21. Preis	



Die Ressourcenuniversität. Seit 1765.

Institut für Experimentelle Physik
Prof. Dr. H. J. Möller



Schlussbericht

Zuwendungsempfänger: TU Bergakademie Freiberg

Förderkennzeichen: 03SF0336 E

Verbundvorhaben:

**„Materialien für ultradünne Silizium-Solarzellen“
– μ -Material –**

Im Rahmen des Spitzenclusters „Solarvalley Mitteldeutschland“

Teilvorhaben: Verteilung von Verunreinigungen und Einfluss auf elektrische Eigenschaften von Solarsilizium und -zellen

Laufzeit des Vorhabens und Berichtszeitraum: 01.03.2009 - 31.03.2011

GEFÖRDERT VOM



**Bundesministerium
für Bildung
und Forschung**

Autor:

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt beim Autor.



Die Ressourcenuniversität. Seit 1765.



Verteilung von Verunreinigungen und Einfluss auf elektrische Eigenschaften von Solarsilizium und -zellen

1. Aufzählung der wichtigsten wissenschaftlich - technischen Ergebnisse und anderer wesentlicher Ereignisse.

- Weiterentwicklung und erste Testmessungen mit XBIC und XRF an der „BAMline“ an BESSY II.
- Surface Photovoltage – Messungen zur Bestimmung der Ladungsträger-Diffusionslänge an gesägtem Säulenmaterial.
- Bruchtests an 180 μm -Wafers zur Vorbereitung von Bruchtestmessungen an dünnen Wafers
- FTIR – Round Robin unter 5 Projektpartnern:
FTIR-Messungen zur Bestimmung des Sauerstoff- und Kohlenstoffgehaltes.
- SPV-Messungen zur Bestimmung der Ladungsträger-Diffusionslängen.

2. Vergleich des Standes des Vorhabens mit der ursprünglichen (bzw. mit der Zustimmung des ZG geänderten) Arbeits-, Zeit- und Kostenplanung.

Siehe Anlage.

3. Haben sich die Aussichten für die Erreichung der Ziele des Vorhabens innerhalb des angegebenen Kostenzeitraumes gegenüber dem ursprünglichen Antrag geändert? (Begründung)?

Nein.

4. Sind inzwischen von dritter Seite FE-Ergebnisse bekannt geworden, die für die Durchführung des Vorhabens relevant sind? (auch Darstellung der aktuellen Informationsrecherchen nach Nr.6.1NKBF 98)

Nein.

5. Sind oder werden Änderungen in der Zielsetzung notwendig?

Nein.

6. Fortschreibung des Verwertungsplans. Diese soll, soweit im Einzelfall zutreffend, Angaben zu folgenden Punkten enthalten (Geschäftsgeheimnisse des ZE brauchen nicht offenbart zu werden):

Nein.



Die Ressourcenuniversität. Seit 1765.



- **Erfindungen/Schutzrechtsanmeldungen und erteilte Schutzrechte**

Nein.

- **Wirtschaftliche Erfolgsaussichten nach Projektende.**

Unverändert.

- **Wissenschaftliche und/oder technische Erfolgsaussichten nach Projektende.**

Wie bisher.

- **Wissenschaftliche und wirtschaftliche Anschlußfähigkeit.**

Das Projekt kann und sollte weitergeführt werden.

Projektleiter: Prof. Dr. H. J. Möller

Verfasser: Sabine Reißerweber





Anhang Verbundprojekt:

x μ - Material

1 Allgemeiner Überblick

Die Arbeitsschwerpunkte unseres Teilvorhabens umfassen im Wesentlichen die elektrische und mechanische Charakterisierung von Silizium-Proben und Wafern mittels:

X-ray Beam Induced Current (XBIC) und X-Ray Fluorescence (XRF)

Surface Photovoltage (SPV)

Bruchtests an dünnen Wafern

Fourier-Transform-Infrarotspektrometrie (FT/IR)

2 Probenübersicht

Im Berichtszeitraum wurden Proben durch die Firmen Q-Cells (multikristalline Wafer), Schott Solar Wafers (mc-Si), PV Crystalox (mc-Si) und Bosch Solar (monokristalline Wafer) zur Verfügung gestellt. Die Blöcke wurden entweder unter Verwendung des gleichen Feedstock-Materials mit verschiedenen Kristallisationsbedingungen gezüchtet bzw. wurden verschiedene Feedstock-Materialien miteinander verglichen.

3 Stand der Arbeiten

AP120 Lokalanalyse mit Synchrotronstrahlung

AP121 Aufbau und Erarbeiten der Messtechnik an einem Messplatz der BAM am Synchrotronring BESSY II

AP410 Bestimmung der Basiseigenschaften der Materialien

AP412 Bestimmung von O-, C- und N-Gehalt mittels topographischer FTIR-Spektroskopie

AP413 LBIC-, SPV- und Elektrolumineszenz-Messungen an Solarzellen und Wafern

AP420 Waferherstellung, mechanische Eigenschaften und Bruchverhalten

AP422 Waferbruchtests mit Oberflächen- und Kantenbelastung



AP120 Lokalanalyse mit Synchrotronstrahlung

AP121 Aufbau und Erarbeiten der Messtechnik an einem Messplatz der BAM am Synchrotronring BESSY II

Bei den Messmethoden, die weiterentwickelt wurden, handelt es sich um XBIC (X-ray Beam Induced Current) und XRF (X-Ray Fluorescence). Beim XBIC-Verfahren wird der Strom gemessen, der durch lokales Bestrahlen mit Röntgenstrahlung erzeugt wird. XRF dient zum Nachweis metallischer Verunreinigungen (hauptsächlich Fe, Cu, Ni). Da ein reduzierter Strom in der orts aufgelösten XBIC-Messung meist auf eine höhere Verunreinigungskonzentration zurückzuführen ist, ist eine genaue Korrelation beider Messverfahren nötig und sinnvoll. Der experimentelle Aufbau an der BAMline ist in Abbildung 1a gezeigt.

Im Rahmen der Weiterentwicklung von Synchrotron-Messmethoden wurden zunächst Erfahrungen mit der Kontaktierung und dem Auslesen des induzierten Stroms bei der XBIC-Methode gesammelt. Es können sowohl ganze Solarzellen als auch kleine Probenstücke kontaktiert und vermessen werden. Es hat sich herausgestellt, dass kleinere Proben ein besseres Signal/Rausch-Verhältnis aufweisen. Daher werden diese in Zukunft Hauptgegenstand der Untersuchung sein.

Der Vergleich der orts aufgelösten LBIC (Light Beam Induced Current), gemessen an unserem Institut und der XBIC-Messung an der BAMline zeigt eine gute Übereinstimmung der rekombinationsaktiven Gebiete, wie in Abbildung 1b dargestellt ist.

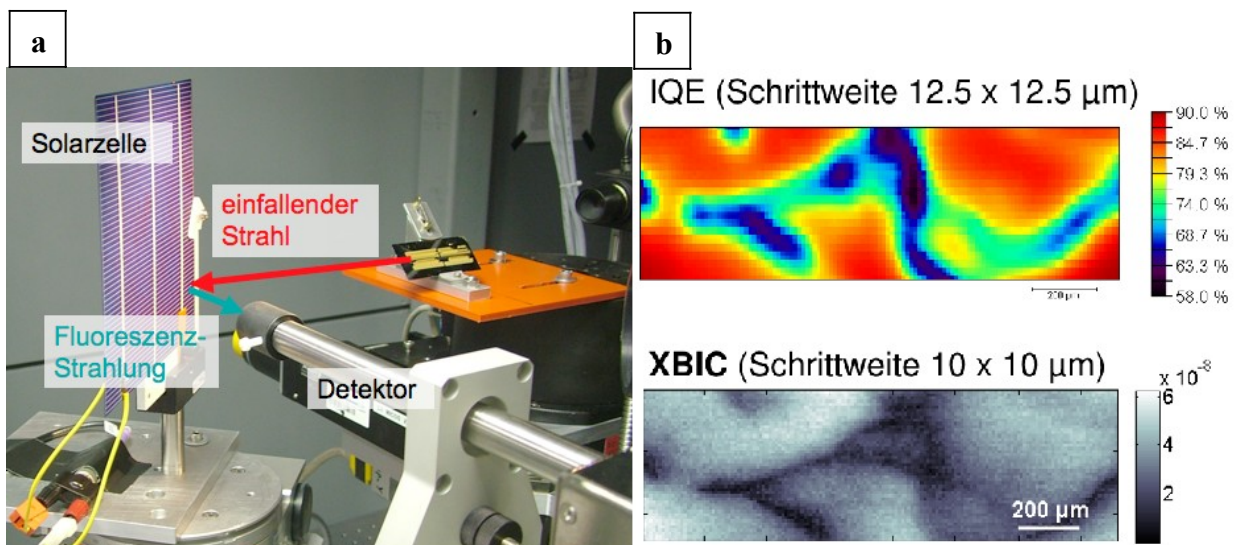


Abbildung 1: Experimenteller Aufbau für XBIC- und XRF-Messung an der BAMline (a), Vergleich von orts aufgelöster LBIC- und XBIC-Messung (b).

Des weiteren wurden Messungen anhand speziell präparierten Proben durchgeführt. Die bereits berichteten Korrelationsmöglichkeiten von XBIC- und XRF-Topographie wurden genutzt, um die Korrelation der Verteilung verschiedener Metalle mit den elektrischen Eigenschaften des Materials zu untersuchen. Beispielhaft sind in Abbildung 2 ein XBIC-Topogramm der Quantenausbeute und die Verteilung von Kupfer gezeigt. Grob sieht man, dass Bereiche guter elektrischer Eigenschaften (z.B. unten links im Topogramm)



mit niedrigen Cu-Konzentrationen in Verbindung stehen und umgekehrt. Allerdings ist keine direkte Korrelation der Quantenausbeute mit einem bestimmten Metall möglich, da verschiedene Spezies einen Einfluss haben.

In der selben Messzeit wurden zudem absichtlich mit Cu kontaminierte Proben untersucht, teilweise wurden Cu-Ausscheidungen an Korngrenzen gefunden.

Die Messungen finden alle an der Nachweisgrenze der XRF-Methode statt.

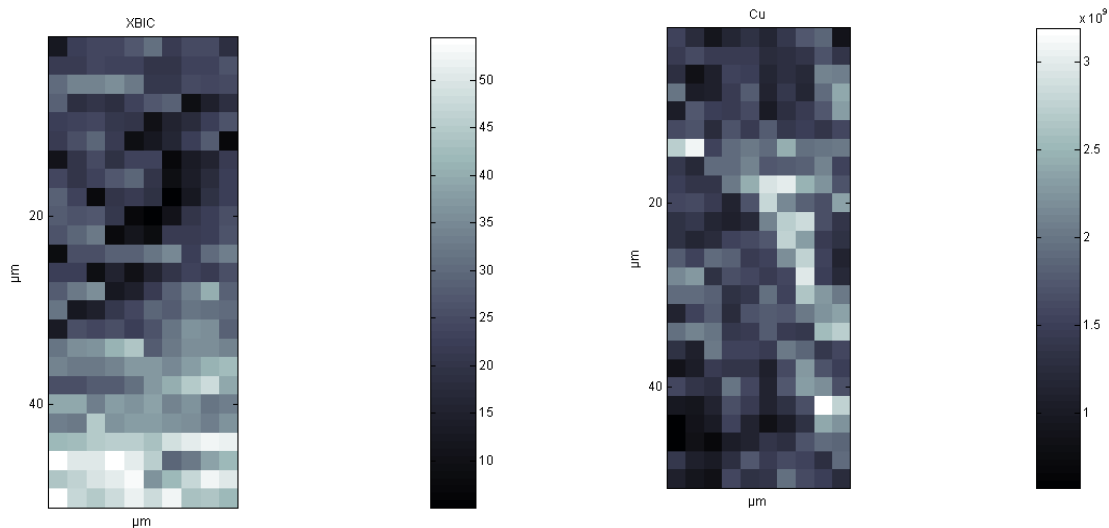


Abbildung 2: Topogramme der Quanteneffizienz mit XBIC (links) und relative Cu-Verteilung (rechts).

Die Korrelationsmöglichkeiten von XBIC- und XRF-Topographie wurden genutzt, um die Korrelation der Verteilung verschiedener Metalle mit den elektrischen Eigenschaften des Materials zu untersuchen. Aufgrund der Fülle der Daten, die im Mai gewonnen wurden und deren umfangreichen Auswertung konnten im Berichtszeitraum noch keine neuen Ergebnisse generiert werden.

AP410 Bestimmung der Basiseigenschaften der Materialien

An den durch die Projektpartner zur Verfügung gestellten Proben wurden Sauerstoff- und Kohlenstoffkonzentrationen mittels FTIR-Spektroskopie und Ladungsträger-Diffusionslängen mittels SPV (Surface Photovoltage) bestimmt. Es wurden einzelne Probenstücke (ca. 2cm x 2 cm) aus den Wafern (Dicke ca. 180 μm) herauspräpariert und glanz-geätzt. Die Ätzdauer wurde so optimiert, dass die Wafer eine ausreichend hohe Transmission für die FTIR-Messungen hatten und eine genügend große Bandverbiegung für die SPV-Messung vorhanden war.

Parallel wurde ein Round Robin zur Vergleichbarkeit der FTIR-Messungen der einzelnen Projektpartner durchgeführt. Dafür stand ein 2 mm dicker Wafer von PV Crystalox zur Verfügung.



AP412 Bestimmung von O-, C- und N-Gehalt mittels topographischer FTIR-Spektroskopie

Um die Vergleichbarkeit von FTIR-Messungen der Projektpartner zu überprüfen, wurde ein Round Robin unter Koordination der TU Freiberg durchgeführt. Dafür wurde ein 2 mm dicker Wafer aus mittlerer Höhe einer Mittelsäule eines multikristallinen Ingots von PV Crystalox zur Verfügung gestellt. Wie in Abbildung 3 zu sehen ist, wurde der Wafer in 9 Proben à 3cm x cm zersägt. Die rechte obere Ecke jeder Probe ist durch eine gebrochene Kante gekennzeichnet. Die Position der Proben im Wafer ist durch Punkte auf der Vorderseite markiert.

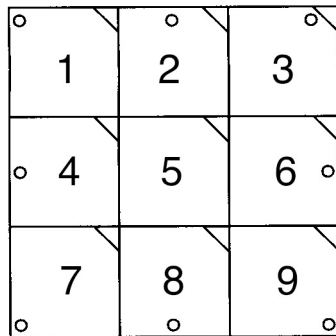


Abbildung 3: Probenanordnung für FTIR – Round Robin

Alle Proben wurden von PV Crystalox glanzgeätzt. Die Proben 1, 3, 5, 7 und 9 wurden an der TU Freiberg beidseitig poliert. Alle 9 Proben wurden an der TU Freiberg vermessen, die Messwerte werden im Folgenden als „Referenz“ bezeichnet. Jeweils eine glanzgeätzte und eine polierte Probe wurden laut dem folgenden Schema an die Projektpartner weiter gegeben.

Probe	Referenz (TU Freiberg)	CiS Erfurt	Schott	Bosch	Q-Cells
1, poliert	X	X			
2	X	X			
3, poliert	X		X		
4	X			X	
5, poliert	X				
6	X		X		
7, poliert	X			X	
8	X				X
9, poliert	X				X

Von allen Projektpartnern wurden die Sauerstoff- und Kohlenstoffkonzentrationen nach ihrer üblichen Messprozedur bestimmt. Alle wichtigen Proben- und Messparameter wurden dokumentiert.

Die ermittelten Sauerstoffkonzentrationen sind in Abbildung 4 dargestellt. Generell liegen alle Werte der Projektpartner über denen der Referenz-Messung. Die Werte von Bosch und Q-Cells weichen um weniger als 4% ab, was innerhalb des Fehlers von 5% liegt. Die Abweichungen der Werte vom CiS und von Schott betragen 10 bis 14%.



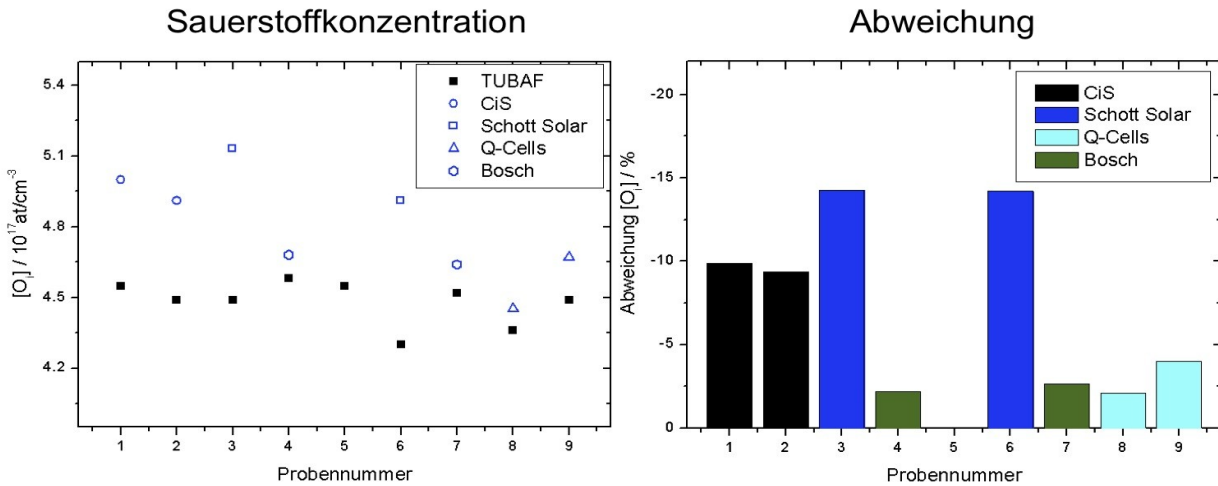


Abbildung 4: Ergebnisse FTIR - Round Robin: Sauerstoffkonzentrationen und prozentuale Abweichungen zu den Referenz-Werten (TUBAF).

In Abbildung 5 sind die Kohlenstoffkonzentrationen dargestellt. Hierbei liegen alle Werte der Projektpartner unterhalb der Referenz-Werte. Größere Abweichungen gab es bei den Werten von Q-Cells (15-20%). Wie im Folgenden noch dargelegt wird, hat hier die verwendete Messnorm einen entscheidenden Einfluss.

Die systematische Abweichung könnte durch die verwendete Float-Zone-Probe, deren Spektrum bei jeder Messung vom Probenspektrum abgezogen wird, zustande kommen. Um diesen Einfluss zu evaluieren, wurde diese Probe für eine Wiederholungsmessung an Schott weiter gegeben. Die Ergebnisse standen im Berichtszeitraum noch aus.

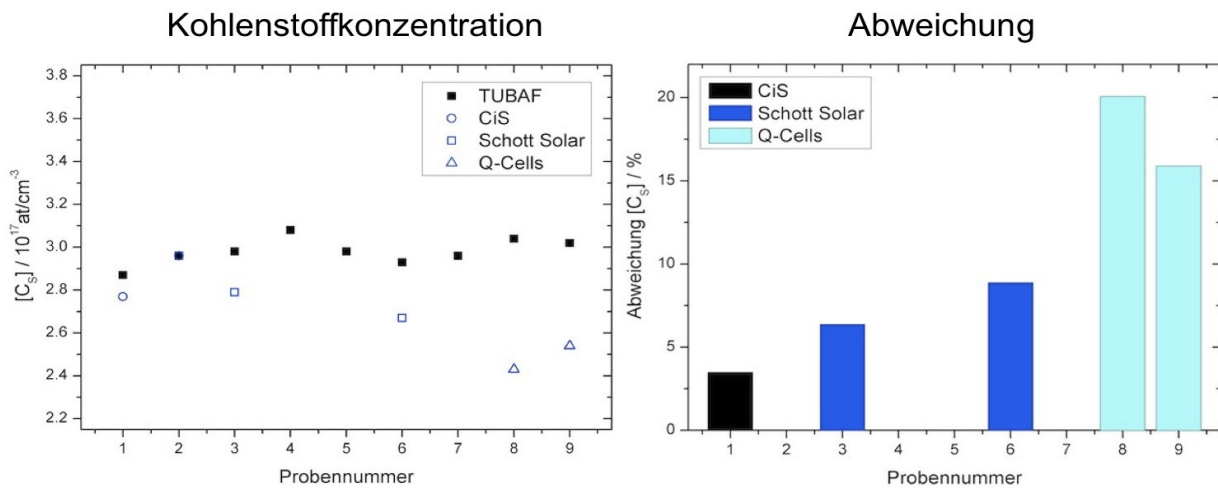


Abbildung 5: Ergebnisse FTIR - Round Robin: Kohlenstoffkonzentrationen und prozentuale Abweichungen zu den Referenz-Werten (TUBAF).

Bei der Kohlenstoffbestimmung sind in DIN 50438-2 und ASTM F1391-92 unterschiedliche Kalibrierfaktoren ($1 \cdot 10^{17} \text{ at/cm}^2$ vs. $8,2 \cdot 10^{16} \text{ at/cm}^2$) zur Berechnung der Kohlenstoffkonzentration aus der Absorbanz angegeben. Bei Q-Cells wird die ASTM-Norm verwendet. Berechnet man aus der Absorbanz der betreffenden Proben die Kohlenstoffkonzentration mit Hilfe des Kalibrierfaktors der DIN-Norm, so sind die von Q-Cells bestimmten Werte im Rahmen des Messfehlers gleich den Referenzwerten, siehe Abbildung 6.



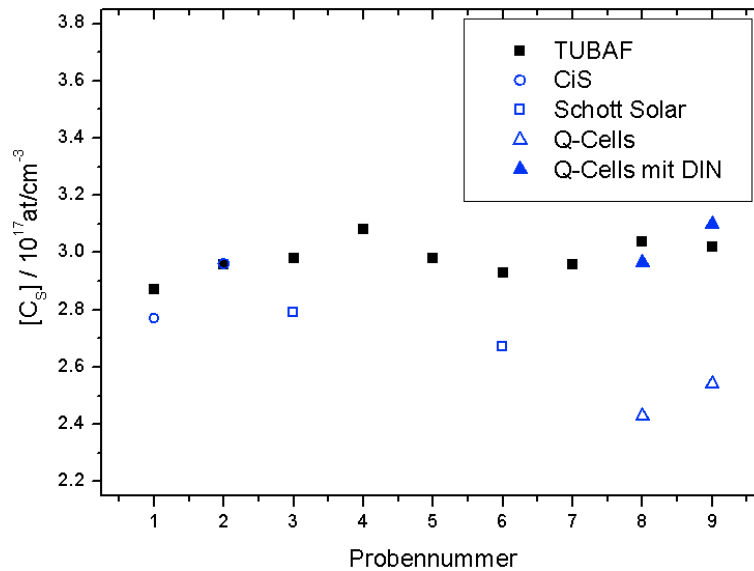


Abbildung 6: Ergebnisse FTIR - Round Robin: Kohlenstoffkonzentrationen unter Verwendung von DIN 50438-2.

Zu den wichtigsten Messparametern, die bei den Projektpartnern unterschiedlich verwendet werden, gehören die Phasenauflösung und die Apodisationsfunktion bei der Fourier-Transformation.

Der Einfluss der Phasenauflösung wurde für alle bei den Projektpartnern auftretenden Werte untersucht (8, 16 und 32). Es zeigt sich, dass die Phasenauflösung keinen Einfluss auf die Sauerstoffkonzentration hat. Bei der Kohlenstoffbestimmung kommt es zu einer leichten Verringerung der Konzentration mit zunehmender Phasenauflösung, siehe Abbildung 7.

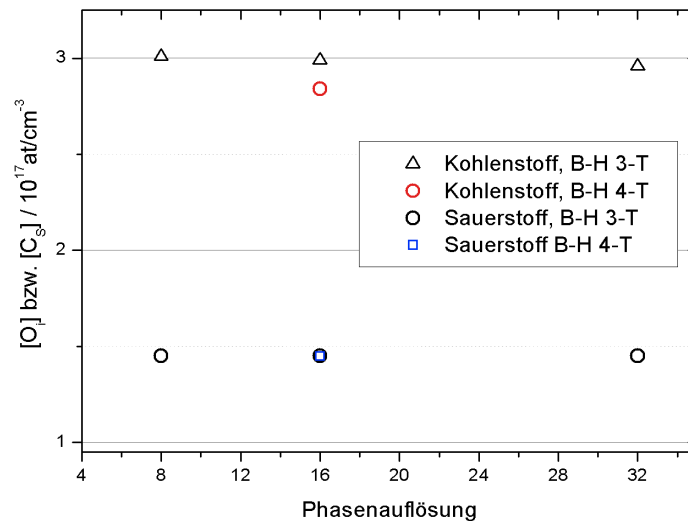


Abbildung 7: Einfluss der Phasenauflösung und der Apodisationsfunktion bei der Fourier-Transformation auf die ermittelten Sauerstoff- und Kohlenstoffkonzentrationen.

Die meisten Projektpartner verwenden als Apodisationsfunktion „Blackman-Harris 3-Term“. Benutzt man bei gleicher Phasenauflösung die „Blackman-Harris 4-Term“-Funktion, so hat dies eine deutliche Verringerung der ausgegebenen Kohlenstoffkonzentration zur Folge, wie ebenfalls in Abbildung 5 dargestellt ist.



Zusammenfassend lässt sich sagen, dass ein Großteil der Messwerte innerhalb der zulässigen Fehlerspanne gleich waren. Ein Teil der Einflussfaktoren für abweichende Werte konnte benannt werden, eine genauere Analyse ist noch in Gange. Nachdem die Vergleichsmessungen mit der an der TU Freiberg verwendeten Float-Zone-Referenz abgeschlossen sind, wird ein Parametersatz aufgestellt, mit dem vergleichbare FTIR-Messungen bei allen Projektpartnern möglich sind.

Bei dem Vergleich der Ergebnisse mit Schott ergaben sich selbst nach maximaler Anpassung der Geräteparameter Abweichungen, die an der TU Freiberg genauer untersucht worden sind (siehe Tabelle).

	O/ 10^{17}
TUBA	4,49
Schott	4,80

Nach der Anpassung der Geräteparameter gab es noch Abweichung bei dem Aperturdurchmesser und der Orientierung der Probe auf dem Messtisch.

Bei Untersuchung dieser Parameter ergab sich für die Sauerstoffbestimmung eine lineare Abhängigkeit von $+ 0,1 \cdot 10^{17}$ pro mm Aperturdurchmesser, was bei einer unterschiedlichen Einstellung von 1-3 mm eine Erhöhung des Wertes um 0,1 bis $0,3 \cdot 10^{17}$ ergibt, und eine Änderung von $\pm 0,2 \cdot 10^{17}$ für eine Drehung der Probe um 90° .

Dieses erklärt die Differenz zwischen den Messungen bei Schott und an der TU Freiberg. Der Versuch wird zur Zeit unter Berücksichtigung dieser Ergebnisse wiederholt.

Ingots mit Feedstock- oder Prozessvariation

Material von Q-Cells

Q-Cells stellte Wafer zur Verfügung, die von vier verschiedenen Herstellern kamen. Da keine weiteren Informationen zur Verfügung standen, werden diese im Folgenden als Hersteller 1 bis 4 bezeichnet. Es wurden jeweils 4 Proben aus annähernd gleicher Blockhöhe miteinander verglichen.

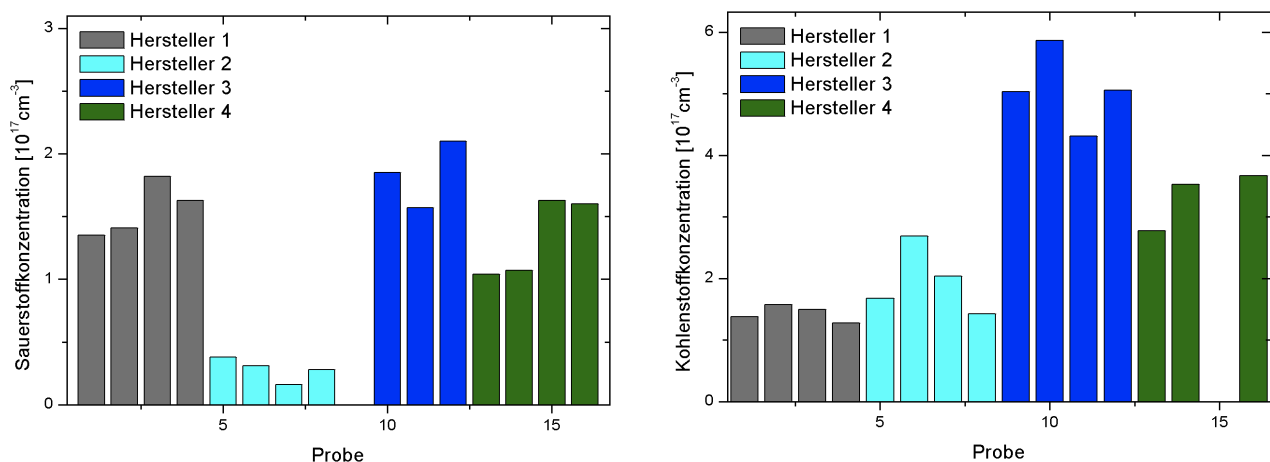


Abbildung 8: Sauerstoff- und Kohlenstoffkonzentrationen der Ingots von Q-Cells (Material vier verschiedener Hersteller).



An den Sauerstoffkonzentrationen (Abbildung 8, links) ist auffällig, dass die Werte bei Hersteller 2 deutlich geringer sind, die 3 anderen Hersteller liegen etwa im selben Bereich. Beim Kohlenstoffgehalt (Abbildung 8, rechts) zeigen Hersteller 1 und 2 deutlich geringere Werte als Hersteller 3 und 4.

Material von PV Crystallox

Von PV Crystallox standen 2 Blöcke zur Verfügung. Es wurden jeweils 4 Proben beider Blöcke aus dem Boden-, Mitten- und Kappenbereich untersucht. Der Block 1390601 zeigt über die ganze Blockhöhe niedrigere Sauerstoffkonzentrationen als der Block 1390606 (Abbildung 9, links). Der Kohlenstoffgehalt ist in beiden Blöcken gleich (Abbildung 9, rechts).

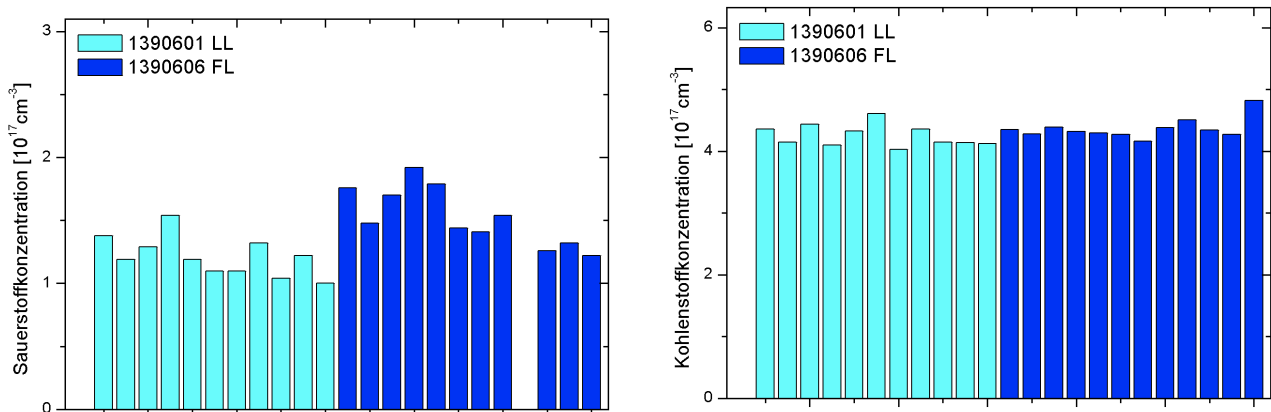


Abbildung 9: Sauerstoff- und Kohlenstoffkonzentrationen der Ingots von PV Crystallox.

Material von Schott

Von Schott wurden vier Ingots untersucht, die nach unterschiedlichen Kristallisationsprozessen gefertigt wurden. Die Bezeichnung der Ingots entspricht folgenden Prozessen: K11 – Standard-Referenz, QA – schnelle Kristallisation, QB – niedriger Gasfluss, X4 – veränderte Abkühlung.

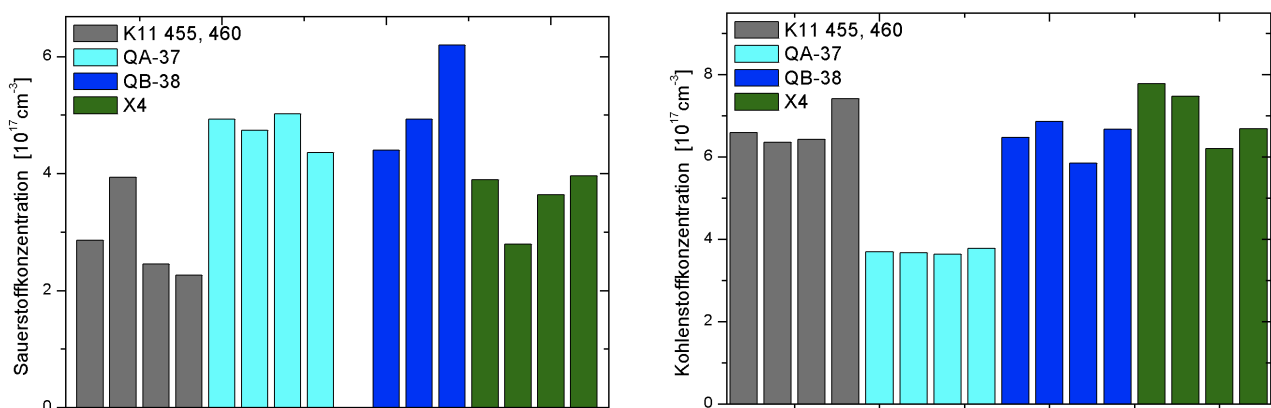


Abbildung 10: Sauerstoff- und Kohlenstoffkonzentrationen der Ingots von Schott (4 Ingots nach unterschiedlichen Kristallisationsprozessen gefertigt).



Die Sauerstoffkonzentration (Abbildung 10, links) in den Blöcken mit schneller Kristallisation und niedrigem Gasfluss sind im Vergleich zur Referenz erhöht. Das lässt sich damit erklären, dass in beiden Fällen das Abdampfen von Sauerstoff in Form von CO über die Schmelzoberfläche reduziert wird (durch kürzere Kristallisationsdauer bzw. geringeren Konzentrationsgradienten bei niedrigerem Gasfluss). Bei schneller Kristallisation (QA) wird weniger Kohlenstoff in den Ingot eingebracht (Abbildung 10, rechts) als in der Referenz, die anderen Ingots weisen gleiche Werte auf.

AP413 LBIC-, SPV- und Elektrolumineszenz-Messungen an Solarzellen und Wafern

Die Surface Photovoltage (SPV) Methode, mit der Ladungsträger-Diffusionslängen bestimmt werden, bietet ebenfalls die Möglichkeit einer elektrischen Charakterisierung des Säulenmaterials. Die Informationstiefe beträgt bei den verwendeten Anregungswellenlängen ca. 105 μm .

An einer gesägten Czochralski-Säule wurden Testmessungen mit SPV durchgeführt. Die Oberfläche wurde keiner weiteren Behandlung unterzogen. Der Beleuchtungsdurchmesser betrug 3mm, die Säule hatte einen Abstand von etwa 200 μm vom Messkopf. Es zeigte sich, dass auch ohne das übliche Glanzätzen der Oberfläche eine ausreichend große SPV-Spannung messbar war. Unsicherheiten kamen durch die Sägeriefen zustande, die eventuell für eine verschiedenartige Reflexion bei den einzelnen verwendeten Wellenlängen sorgen.

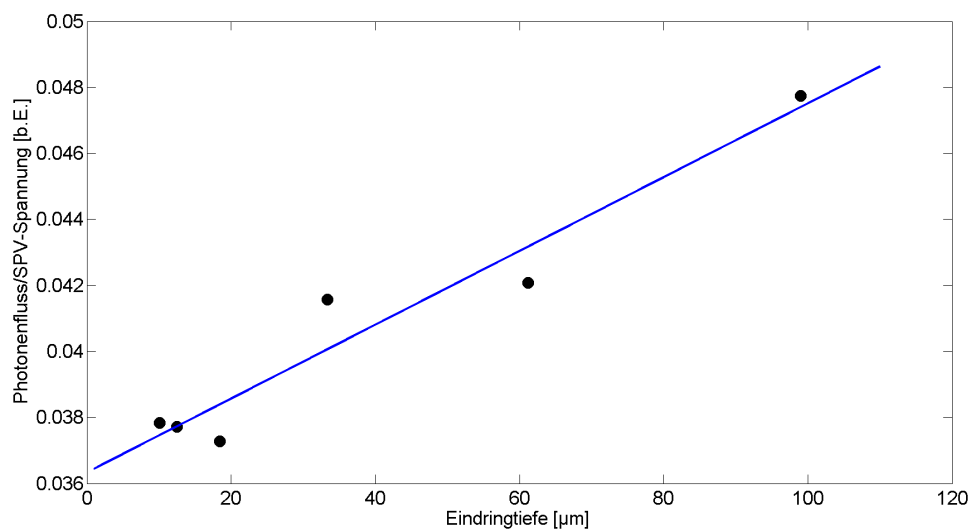


Abbildung 11: Goodman-Plot zur Bestimmung der Ladungsträger-Diffusionslänge.

In Abbildung 11 ist ein sogenannter Goodman-Plot gezeigt, d.h. Die Auftragung des Verhältnisses von eingestrahlem Photonenfluss und gemessener SPV-Spannung in Abhängigkeit der Eindringtiefe der Strahlung (d.h. der Wellenlänge). Für den Testbereich wurden Diffusionslängen von 305 bis 419 μm gemessen.



Alle Proben zeigen für multikristallines Material typische Schwankungen der Diffusionslänge. Zwischen den vier Herstellern der Q-Cells-Proben konnten keine signifikanten Unterschiede festgestellt werden. Bei den Schott-Proben hat der Ingot X4 (geänderte Abkühlung) etwas bessere Diffusionslängen als die Referenz und die beiden anderen Prozesse (siehe Abbildung 12).

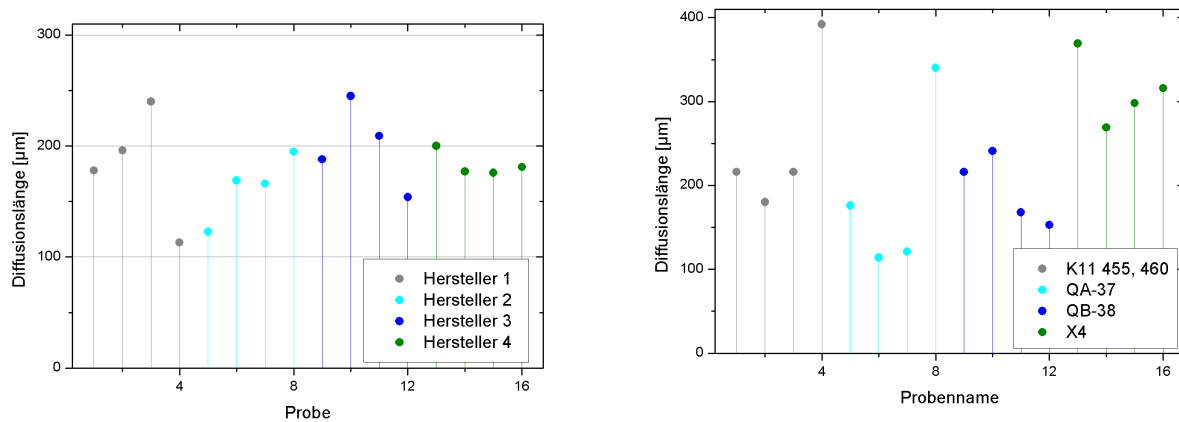


Abbildung 12: *Diffusionslängen, Ingots von Q-Cells (links) und Schott (rechts).*

AP420 Waferherstellung, mechanische Eigenschaften und Bruchverhalten

AP422 Waferbruchtests mit Oberflächen- und Kantenbelastung

Waferbruchtests wurden an 40 Wafern aus einem Block der Q-Cells SE durchgeführt. Es wurden die Vier-Kugel-Methode benutzt, bei der die Wafer auf drei Kugeln aufliegen und die Kraft durch eine vierte Kugel im Zentrum des Wafers einwirkt, siehe Abbildung 13. Die untersuchten Wafer hatten eine durchschnittliche Dicke von 180 µm.

Die bisher am Institut durchgeführten Bruchtest an Wafern der Größe 156x156 mm² wurden mit minimalen Dicken von 200 µm durchgeführt. Dieser Bruchtest war somit ein wichtiger Zwischenschritt auf dem Weg zu Untersuchungen an dünneren Proben (100-120µm), die im Laufe des Projektes geplant sind. Hinsichtlich dünnerer Wafer muss evtl. die Geometrie des Tests verändert werden, da die Durchbiegung bei dünneren Wafern zunimmt. Zudem sind FEM-Rechnungen für die Umrechnung der gemessenen Kraft-Durchbiegungskurven in Bruchspannungen nötig. Diese Rechnungen liegen nun für Waferdicken bis 100 µm Dicke vor.





Abbildung 13: Aufbau der Bruchtestapparatur. Die drei unteren Kugel dienen als Auflage für den Wafer, die mittlere Kugel drückt von oben auf den Wafer.

Die Weibull-Verteilung der Bruchspannungen ist in Abbildung 14 dargestellt. Die Bruchspannungen der untersuchten Wafer liegen im üblichen Bereich, es sind keine Auffälligkeiten erkennbar.

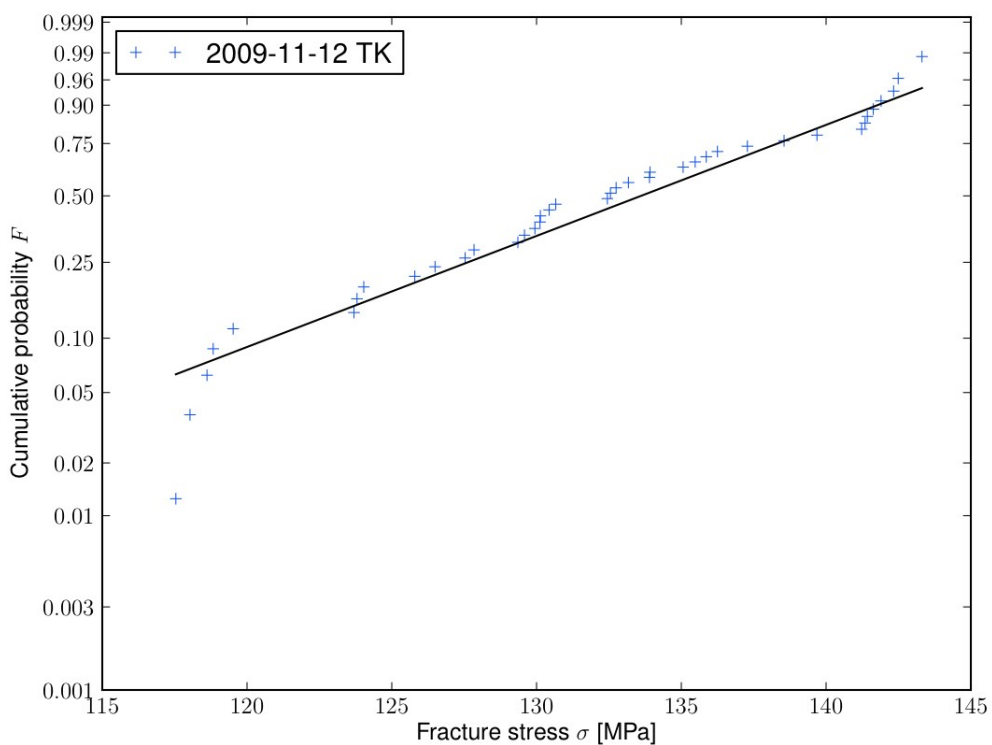


Abbildung 14: Weibull-Verteilung der Bruchspannungen von 40 Wafern.

