

Erwicon 2006 Erfurter Wirtschaftskongress

Standardisierung und Normen zur Entwicklung von Messverfahren für die PV Prozessautomation

Dipl.-Ing./EUR Ing. Arno Bergmann

**DKE Deutsche Kommission
Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik
im DIN und VDE**

**Stresemannallee 15, D-60596 Frankfurt /Main
Telefon: +49 69 6308-226 Fax: +49 69 6312925**

E-Mail: arno.bergmann@vde.com

Internet: www.dke.de



Gliederung

- **DKE Arbeitskreis 373.0.10 „Solarzellen, Wafer und Module“**
- **Vornorm zu Datenblattangaben von Solarscheiben**
- **Vornormen zur Messung der geometrischen Dimensionen von Solarscheiben**
- **Vornormen zur Bestimmung der elektrischen Kenngrößen, der chemischen- und der Kristalleigenschaften**
- **Zusammenfassung**

DKE Arbeitskreis 373.0.10 „Solarzellen, Wafer und Module“

Teilnehmer:

- Sunways
- Biohaus
- SCHOTT Solar
- Q Cells
- DGS
- TÜV Immissionsschutz
- Solar-Fabrik
- Shell Solar
- ErSol
- SolarWorld
- PV Plan
- SOLON PV
- Deutsche Solar
- SOLARWATT
- PV Silicon
- ASi Industries
- FH Köln
- Scan Wafer
- CIS
- Photovoltaic
- Arsenal
- Svipro
- SunLynx

Solarscheiben Datenblattangaben

DIN V VDE V 0126-18-1 (VDE V 0126-18-1):2006-04 „Solarscheiben – Teil 1: Datenblattangaben und Angaben zum Produkt für kristalline Silicium-Solarscheiben“

Diese Vornorm beschreibt die Datenblattangaben und Angaben zum Produkt für kristalline Silicium (Si)-Solarscheiben. Sie stellt notwendige Informationen bereit, um eine optimale Weiterverarbeitung zu Si-Solarzellen zu ermöglichen.

Angaben zu Abmessungen

Scheibenform:	Rechteckig, quadratisch, rund, pseudoquadratisch.
Äußere Abmessungen:	Die Kantenlängen sind als Nennwerte mit Grenzabweichungen in mm anzugeben.
Fläche:	Angabe der nominalen Fläche in mm ²
Dicke:	Mittlere Dicke mit Grenzabweichung in µm
TTV:	Maximalwert der Dickenvariation
Angabe zur Rechtwinkligkeit:	
Angaben zur Art der Ecke:	z. B. gerade Fase
Angaben zur Welligkeit und Durchbiegung:	

Solarscheiben Datenblattangaben

Elektrische Kenngrößen:

Leitungstyp nach DIN 50432 und qualitative Angabe des Dotierstoffs, spezifischer Widerstand in Ωcm , effektive Minoritäts-Ladungsträgerlebensdauer

Chemische Eigenschaften:

Angabe des Sauerstoff- und Kohlenstoffgehalts

Kristalleigenschaften (monokristallin):

Ätzgrubendichte (EPD) in cm^2 nach DIN 50434, Kristallorientierung, Ausrichtung der kristallografischen Orientierung

Solarscheiben Datenblattangaben

Eigenschaft	Englische Bezeichnung	Beschreibung	Spezifikation
Oberflächeneigenschaften			
Oberflächen-Absplitterungen	Surface chipping	Absplitterungen (Ausmuschelungen) an der Scheibenoberfläche	Maximal zulässige Länge, Breite und Anzahl (und Ausschluss von Positionen falls gefordert)
Risse	Cracks	Technisch erkennbare Risse	Maximal zulässige Länge und Anzahl
Löcher	Holes	Durchgehende und nicht durchgehende Löcher (z. B. durch Luftpneumatische Einschlüsse während des Ziehprozesses)	Maximal zulässige Länge, Breite und Anzahl (und Ausschluss von Positionen falls gefordert)
Einschlüsse	Inclusions	Visuell erkennbare Einschlüsse von Fremdmaterial in der Siliciummatrix, welche die elektrischen, chemischen oder optischen Eigenschaften der Scheibe beeinflussen	Maximal zulässige Anzahl (und Dimensionen falls gefordert)
Sichtbare Oberflächenverunreinigungen	Visible contaminations	Mit bloßem Auge erkennbare Verunreinigungen	Art und maximal zulässige Größe
Nicht sichtbare Oberflächenverunreinigungen	Not visible contaminations	Die Beurteilung kann durch Angabe einer Ätzrate nach DIN V VDE V 0126-18-3 (VDE V 0126-18-3) geschehen.	Art und maximal zulässige Größe
Riefen, Rillen	Saw mark	Riefen, wie sie typischerweise durch Fehler im Sägeprozess entstehen können; Messung nach DIN V VDE V 0126-18-2-1 (VDE V 0126-18-2-1)	Maximale zulässige Tiefe und Anzahl (pro Flächeneinheit)
Stufen	Step type saw mark	Stufen, wie sie typischerweise durch Fehler im Sägeprozess entstehen können; Messung nach DIN V VDE V 0126-18-2-1 (VDE V 0126-18-2-1)	Maximale zulässige Tiefe und Anzahl (pro Flächeneinheit)

Solarscheiben Datenblattangaben

Eigenschaft	Englische Bezeichnung	Beschreibung	Spezifikation
Kanteneigenschaften			
Absplitterung, Muschelausbruch	Edge chips, <u>chipping</u>	Absplitterung an der Scheibenkante, die im Gegenlicht nicht erkennbar ist (siehe Anhang A, Bild A.3a)	Maximale zulässige Länge, Breite und Anzahl (und Ausschluss von Positionen falls gefordert)
Kantenverdickung	Local thickness fluctuations (LATF)	Eine lokale Verdickung der Scheibenkante, die durch eine Messung von <i>TTVPV</i> nach DIN V VDE 0126-18-2-2 (VDE V 0126-18-2-2) nicht erfasst wird (siehe Anhang A, Bild A.4)	Längenbereich <i>a</i> und max. zulässige Grenzwerte für Parameter <i>b</i> und <i>c</i> .
V-Kerben, V-Ausbrüche	<u>V-Chips</u> , indents (v-type), nicks	Durchgehende, im Gegenlicht erkennbare V-förmige (Eckradius < 0,3 mm) Kerben/Ausbrüche an der Scheibenkante (siehe Anhang A, Bild A.3b)	Maximal zulässige Länge, Breite und Anzahl
Kerben, Ausbrüche	<u>Edge breakage</u> , indents (not including v-type)	Durchgehende, im Gegenlicht erkennbare nicht V-förmige (Eckradius > 0,3 mm) Kerben/Ausbrüche an der Scheibenkante (siehe Anhang A, Bild A.3c)	Maximal zulässige Länge, Breite und Anzahl
Kantenabweichung	Straight line	Abweichung von der idealen Kante, die durch eine Ausgleichsgerade, bestimmt durch die Minimierung der Fehlerquadrate, angenähert wird (siehe Anhang A, Bild A.5)	Maximale Abweichung von der Ausgleichsgeraden und minimale Wellenlänge

Messung der geometrischen Dimensionen von Solarscheiben

- **DIN V VDE V 0126-18-2-1 (VDE V 0126-18-2-1)**
„Solarscheiben – Teil 2-1: Messung der geometrischen Dimensionen von Halbleiterscheiben – Scheibendicke“
- **DIN V VDE V 0126-18-2-2 (VDE V 0126-18-2-2)**
„Solarscheiben – Teil 2-2: Messung der geometrischen Dimensionen von Halbleiterscheiben – Dickenvariation TTV_{PV} “
- **DIN V VDE V 0126-18-2-3 (VDE V 0126-18-2-3)**
“Solarscheiben – Teil 2-3: Messung der geometrischen Dimensionen von Halbleiterscheiben – Welligkeit und Durchbiegung“
- **DIN V VDE V 0126-18-2-4 (VDE V 0126-18-2-4)**
„Solarscheiben – Teil 2-4: Messung der geometrischen Dimensionen von Halbleiterscheiben – Riefen und Stufen“

Messung der geometrischen Dimensionen von Solarscheiben

Scheibendicke

Das Verfahren nach dieser Norm dient dazu, die Dicke von kristallinen Siliciumscheiben zu bestimmen, wobei sowohl berührungsfreie als auch berührend arbeitende Dickenmessgeräte verwendet werden können

Als Messgeräte werden verwendet:

- Berührende: Alle Messgeräte mit beidseitigem Messfühler, z. B. Feinzeiger mit einem Skalenteilungswert von höchstens $1\ \mu\text{m}$ nach DIN 879-1. Unter Wiederholbedingungen muss die Standardabweichung der Messwerte kleiner als $5\ \mu\text{m}$ sein. Die Kontaktfläche darf $2\ \text{mm}^2$ nicht übersteigen.
- Berührungslose: Alle Messgeräte, die auf einem elektrischen, optischen oder pneumatischen Messverfahren mit beidseitigen Sensoren beruhen. Die von den Sensoren erfasste Messfläche hat eine runde Gestalt und einen Durchmesser von etwa 10 mm.
- Feinwaage mit einer Genauigkeit von $\pm 1\ \text{mg}$ zur Bestimmung der Scheibendicke mittels Wägung.

Messung der geometrischen Dimensionen von Solarscheiben

Scheibendicke

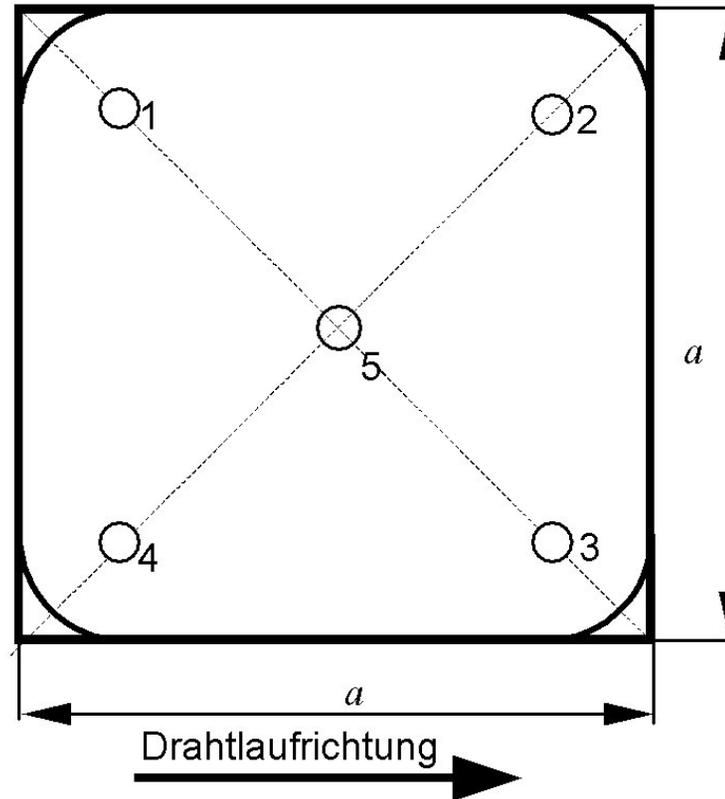


Bild: Messstellenplan für quadratische und quasiquadratische Scheiben

Messung der geometrischen Dimensionen von Solarscheiben

Dickenvariation (TTV_{PV})

Das Verfahren nach dieser Norm dient dazu, die Dickenvariation (TTV_{PV}) von kristallinen Siliciumscheiben zu bestimmen, wobei sowohl berührungsfreie als auch berührend arbeitende Dickenmessgeräte verwendet werden können.

Dickenvariation Δd (en: total thickness variation)

Größte Differenz zwischen den 15 Messwerten d_1 bis d_{15} an den Messstellen 1 bis 15 nach Bild 1:

$$\Delta d = \max(d_1, d_2, d_3, d_4, \dots, d_{15}) - \min(d_1, d_2, d_3, d_4, \dots, d_{15})$$

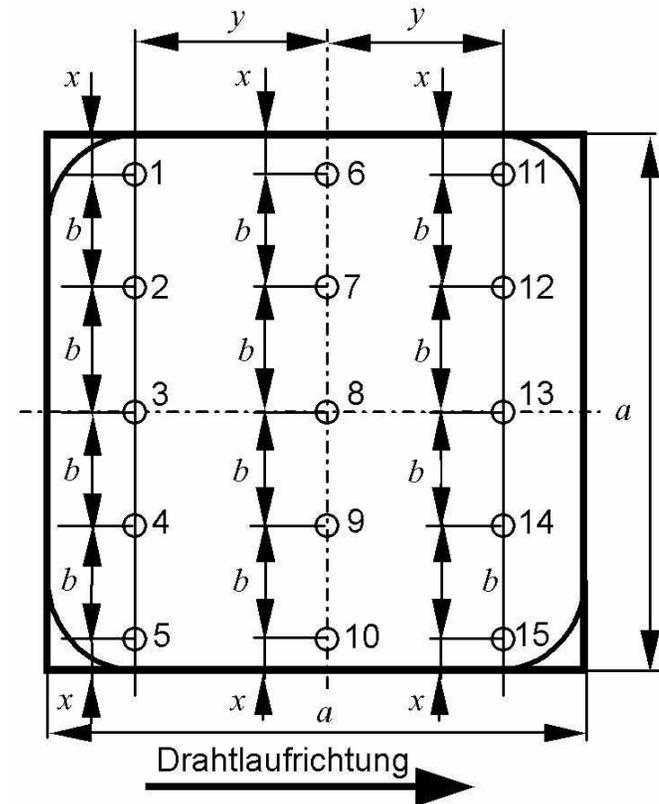


Bild 1:
Messstellenplan für quadratische und
quasiquadratische Scheiben

Messung der geometrischen Dimensionen von Solarscheiben

Dickenvariation (TTV_{PV})

Messgeräte

Als Messgeräte werden verwendet:

- Berührende: Alle Messgeräte mit beidseitigem Messfühler, z. B. Feinzeiger mit einem Skalenteilungswert von höchstens $1 \mu\text{m}$ nach DIN 879-1. Unter Wiederholbedingungen muss die Standardabweichung der Messwerte kleiner als $5 \mu\text{m}$ sein. Die Kontaktfläche darf 2 mm^2 nicht übersteigen.
- Berührungslose: Alle Messgeräte, die auf einem elektrischen, optischen oder pneumatischen Messverfahren mit beidseitigen Sensoren beruhen. Die von den Sensoren erfasste Messfläche hat eine runde Gestalt und einen Durchmesser von etwa 10 mm .

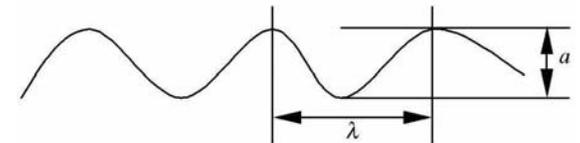
Messung der geometrischen Dimensionen von Solarscheiben

Welligkeit und Durchbiegung

Diese Norm dient dazu, die Werte für die Welligkeit und die Durchbiegung von kristallinen Siliciumscheiben zu bestimmen. Die Messung der Welligkeit erfolgt nach DIN 4774.

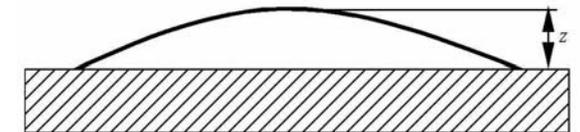
Welligkeit

Welligkeit ist eine überwiegend periodisch auftretende Gestaltabweichung einer Oberfläche mit Wellenlängen größer 3 mm. Die lokalen maximalen Amplituden werden über eine Messstrecke von 10 cm ermittelt.



Durchbiegung

Die Durchbiegung ist, bei Auflegen der Scheibe auf eine ebene Unterlage, der Abstand zwischen der Unterlage und dem höchsten Punkt der Scheibe minus die Scheibendicke.



Die Messeinrichtung wird noch festgelegt.

Messung der geometrischen Dimensionen von Solarscheiben

Riefen und Stufen

Diese Norm beschreibt Verfahren zur Messung der Tiefe von Stufen und Riefen an kristallinen Si-Solarscheiben.

Eine Riefe ist eine längliche lokale Vertiefung der Oberfläche. Die Riefentiefe $-t$ ist durch die maximale Differenz zweier gedachter Messlinien gegeben, die sich als Ausgleichsgeraden des realen Oberflächenprofils ergeben, wobei die Länge der oberen Messlinie 1 mm beträgt und die der unteren Messlinie der mittleren Breite b der Riefe entspricht.

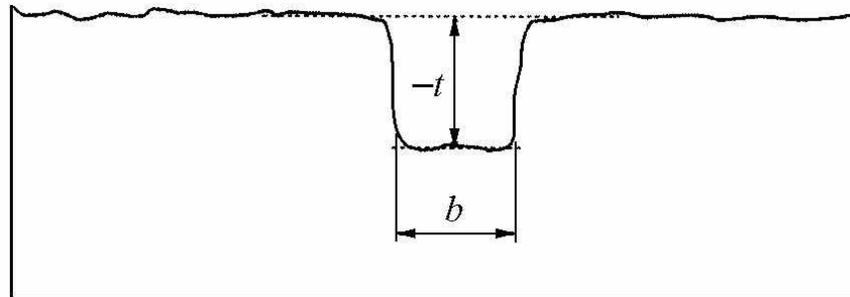


Bild 1: Prinzipskizze einer Riefe in einer Solarwaferoberfläche

Messung der geometrischen Dimensionen von Solarscheiben

Eine Stufe ist eine längliche sprunghafte Änderung der Oberflächenhöhe einer Solarscheibe. Die Stufenhöhe h ist durch den Anstand zweier gedachter Messlinien gegeben, die sich als Ausgleichsgeraden des realen Oberflächenprofils auf einer Messstrecke von je 0,5 mm ergeben.

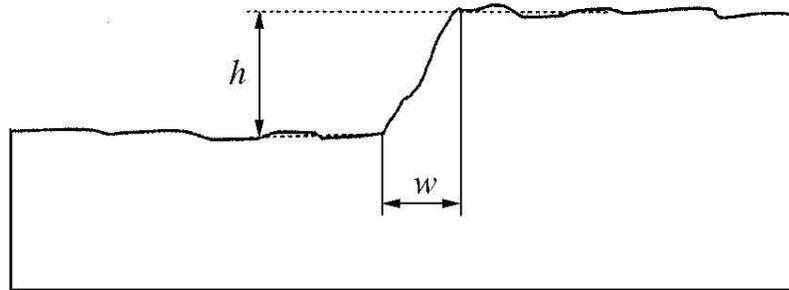


Bild 1:
Prinzipskizze einer Stufe in
einer Solarscheibenoberfläche

Für die Vermessung von Stufen und Riefen können prinzipiell alle geeigneten Messmethoden (optische, tastende, kapazitive usw. genutzt werden, vorausgesetzt, die laterale Auflösung der Messgeräte ist besser als oder gleich $10\ \mu\text{m}$ und die Tiefenauflösung ist besser als oder gleich $1\ \mu\text{m}$.

Das Oberflächenprofil der zu messenden Solarscheibe wird mit Hilfe eines geeigneten Messgerätes in mindestens 3 Spuren senkrecht zu den Schneidspuren erfasst. Aus dem Profil werden die Stufen und Riefen ermittelt.

Bestimmung der elektrischen Kenngrößen, der chemischen- und der Kristalleigenschaften

- **DIN V VDE V 0126-18-3 (VDE V 0126-18-3)**
„Solarscheiben – Teil 3: Messverfahren – Alkalische Damageätze von Mono- und Multikristallinescheiben – Methode zur Bestimmung der Ätzrate von Mono- und Multischeiben (as cut)“
- **DIN V VDE V 0126-18-4 (VDE V 0126-18-4)**
„Solarscheiben – Teil 4: Messverfahren – Bestimmung der Ladungsträgerlebensdauer“
- **DIN V VDE V 0126-18-5 (VDE V 0126-18-5)**
„Solarscheiben – Teil 5: Messverfahren – Widerstandsmessung“
- **DIN V VDE V 0126-18-6 (VDE V 0126-18-6)**
„Solarscheiben – Teil 6: Messverfahren – Ermittlung des Sauerstoff- und Kohlenstoffgehalts“

Bestimmung der elektrischen Kenngrößen, der chemischen- und der Kristalleigenschaften

Methode zur Bestimmung der Ätzrate von Mono- und Multihalbleiterscheiben (as cut)

Das Verfahren nach dieser Norm dient dazu, den Ätzabtrag an Halbleiterscheiben für die Photovoltaik im Zustand „as cut“ zu bestimmen. Mit diesem Ätzverfahren wird der auf der Scheibenoberfläche im Drahttrenn-Läpp-Prozess erzeugte Damagebereich chemisch weitestgehend entfernt.

Ätzrate, r_E

Der Abtrag des Scheibenmaterials in [nm/min], der beim nasschemischen Ätzprozess von der Oberfläche des Wafers entfernt wird.

Ätzdauer, t_R

Die Zeit, in der die Scheibe der Ätzlösung ausgesetzt ist in [min]. Zur Bestimmung der mittleren Ätzrate werden die geätzten und getrockneten Scheiben gewogen und die Massedifferenz Δm bestimmt.

Die mittlere Ätzrate r_E [nm/min] (unter Vernachlässigung der Kanten) berechnet sich nach folgender Formel:

$$r_E [\text{nm/min}] = \frac{\Delta m [\text{g}]}{\rho_{\text{si}} [\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}] \cdot A [\text{cm}^2] \cdot t_R [\text{min}]} \cdot 1\,000\,000\,0$$

Bestimmung der elektrischen Kenngrößen, der chemischen- und der Kristalleigenschaften

Effektive Minoritätsladungsträgerlebensdauer

Das Verfahren nach dieser Norm dient dazu, die effektive Lebensdauer von optisch erzeugten Überschussladungsträgern als effektive Minoritätsladungsträgerlebensdauer von kristallinen Siliciumscheiben zu bestimmen.

Diese Methode ist bevorzugt auf multikristalline Siliciumscheiben anzuwenden. Bei monokristallinen Materialien erfolgt die Messung bevorzugt an einer Stirnseite des Blocks. Die Bestimmung der Minoritäts-Ladungsträgerlebensdauer im Volumen nach dieser Methode, macht eine Passivierung der Oberfläche erforderlich.

Zur Bestimmung der Ladungsträgerlebensdauer wird die kontaktlose Methode der μ -PCD – Bestimmung eingesetzt, die auf der Messung der Reflexion einer Mikrowellenstrahlung an der Probe basiert, die zeitgleich mit einem gepulsten Laser bestrahlt wird. Der Abfall der Leitfähigkeit nach der Lichtanregung steht hierbei in direktem Verhältnis zur Lebensdauer der erzeugten Überschussladungsträger.

Bestimmung der elektrischen Kenngrößen, der chemischen- und der Kristalleigenschaften

Effektive Minoritätsladungsträgerlebensdauer

Die gemessene effektive Lebensdauer ist abhängig von der Lebensdauer im Material, der Rekombinationsgeschwindigkeit an der Oberfläche, der Laserintensität, der Eindringtiefe der Laseranregung (abhängig von der Wellenlänge) und der Mikrowellenstrahlung (abhängig von der Frequenz und Leitfähigkeit des Siliciums). Folglich ist bei Unterschieden in der Anregungsenergie, Fokussierung sowie der Mikrowellendetektion (Wellenlänge, Messabstand) mit unterschiedlichen Lebensdauerwerten zu rechnen und solche Randbedingungen für vergleichbare Messungen festzuschreiben. Das Messverfahren geht von einem monoexponentiellen Abfall der Transienten aus. Tatsächliche Messkurven weichen von der Idealgestalt häufig ab. In diesem Fall ist sicherzustellen, dass der Filterbereich so gewählt wird, dass ein monoexponentieller Abfall gegeben ist.

Bestimmung der elektrischen Kenngrößen, der chemischen- und der Kristalleigenschaften

Effektive Minoritätsladungsträgerlebensdauer

Die wesentlichen Parameter der Messung sind:

Laserintensität: $100 \cdot 10^{10}$ Photonen/(Puls \cdot mm²)

Anregungswellenlänge: 904 nm, Pulsdauer 150 ns

Detektionsfrequenz μ -PCD: 2 GHz, 90 mW alternativ 13 Hz

Messfleckgröße: 2 mm

Die Messung erfolgt ohne Biaslicht.

Aus allen Messpunkten der Ladungsträgerlebensdauerermessung wird eine mittlere Ladungsträgerlebensdauer der Siliciumscheibe mit der Einheit μ s ermittelt.

Bestimmung der elektrischen Kenngrößen, der chemischen- und der Kristalleigenschaften

Kristalleigenschaften

Spezifischer elektrischer Widerstand

Das Verfahren nach dieser Norm dient dazu, den elektrischen Widerstand von multi- und monokristallinen Halbleiterscheiben im Zustand „as cut“ (ohne gestaltverändernde chemische, physikalische oder mechanische Bearbeitung der Oberfläche nach dem Herstellungsprozess) zu bestimmen, wobei sowohl berührungsfreie als auch berührend arbeitende Widerstandsmessgeräte verwendet werden

Als Messgeräte werden verwendet:

- Berührende: alle Vier-Spitzenmessgeräte wie in DIN 50431 angegeben
- Berührungslose: alle Wirbelstrommessgeräte mit einem Messsondenpaar, zwischen dem der Siliciumscheibe gemessen wird, wie in ASTM F673 angegeben, sowie alle Wirbelstrommessgeräte mit einer einzelnen Messsonde, die gegenüber der zu messenden Probe positioniert wird.

Bestimmung der elektrischen Kenngrößen, der chemischen- und der Kristalleigenschaften

Spezifischer elektrischer Widerstand

Messung mit Vier-Spitzenmessgerät

Die Messung von mono- und multikristallinen Proben erfolgt gemäß DIN 50431. Die Messung von multikristallinen Proben erfolgt so, dass sich zwischen den Messspitzen keine Korngrenzen befinden. Ist das Gefüge so feinkristallin, dass dies unmöglich ist, so werden an zehn benachbarten Punkten Messungen durchgeführt. Die drei kleinsten und die drei größten Messwerte werden ausgeschlossen und von den übrigen vier wird der Mittelwert gebildet. Dieser Mittelwert stellt den Widerstandswert dar.

Messung mit Wirbelstrommessgerät mit einem Messsondenpaar

Die Messung von mono- und multikristallinen Proben erfolgt gemäß ASTM-Norm F673.

Messung mit Wirbelstrommessgerät mit einer einzelnen Messsonde

Die Messung von mono- und multikristallinen Proben erfolgt gemäß der Bedienungsanleitung des jeweiligen Messgerätes.

Zusammenfassung

Erstmalig wurde mit der Vornormenreihe zu Solarscheiben weltweit Anforderungen zu Datenblattangaben festlegt.

Mit den weiteren Teilen dieser Normenreihe werden Messverfahren zur Bestimmung der geometrischen Dimensionen sowie der chemischen, elektrischen und Kristalleigenschaften definiert.

Die Publikation als Vornorm soll der Industrie und anderen interessierten Kreisen, die Möglichkeit bieten sich mit diesen neuen Verfahren zu befassen und Erfahrungen zu sammeln. Nach Abschluss dieser „Erprobungsphase“ sollen diese Vornormen überarbeitet werden und als Normen veröffentlicht werden.

Erwicon 2006

Erfurter Wirtschaftskongress

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!