

	DIN EN 50513 (VDE 0126-18)	
	Diese Norm ist zugleich eine VDE-Bestimmung im Sinne von VDE 0022. Sie ist nach Durchführung des vom VDE-Präsidium beschlossenen Genehmigungsverfahrens unter der oben angeführten Nummer in das VDE-Vorschriftenwerk aufgenommen und in der „etz Elektrotechnik + Automation“ bekannt gegeben worden.	
<p>ICS 27.160</p> <p>Ersatzvermerk siehe unten</p> <p>Solarscheiben – Datenblattangaben und Produktinformation für kristalline Silicium-Scheiben zur Solarzellenherstellung; Deutsche Fassung EN 50513:2009</p> <p>Solar wafers – Data sheet and product information for crystalline silicon wafers for solar cell manufacturing; German version EN 50513:2009</p> <p>Tranches de silicium solaires – Fiche technique et information produit sur les tranches au silicium cristallin pour la fabrication de cellules solaires; Version allemande EN 50513:2009</p> <p>Ersatzvermerk Ersatz für DIN V VDE V 0126-18-1 (VDE V 0126-18-1):2006-04 und DIN V VDE V 0126-18-2-1 (VDE V 0126-18-2-1):2007-06 und DIN V VDE V 0126-18-2-2 (VDE V 0126-18-2-2):2007-06 und DIN V VDE V 0126-18-2-3 (VDE V 0126-18-2-3):2007-06 und DIN V VDE V 0126-18-2-4 (VDE V 0126-18-2-4):2007-06 und DIN V VDE V 0126-18-3 (VDE V 0126-18-3):2007-06 und DIN V VDE V 0126-18-4-1 (VDE V 0126-18-4-1):2007-06 und DIN V VDE V 0126-18-4-2 (VDE V 0126-18-4-2):2007-06 und DIN V VDE V 0126-18-5 (VDE V 0126-18-5):2007-06 und DIN V VDE V 0126-18-6 (VDE V 0126-18-6):2007-06 Siehe jedoch Beginn der Gültigkeit</p> <p style="text-align: right;">Gesamtumfang 38 Seiten</p> <p style="text-align: center;">DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE</p>		

DIN EN 50513 (VDE 0126-18):2009-12

Beginn der Gültigkeit

Die von CENELEC am 2008-12-01 angenommene EN 50513 gilt als DIN-Norm ab 2009-12-01.

Daneben dürfen **DIN V VDE V 0126-18-1 (VDE V 0126-18-1):2006-04, DIN V VDE V 0126-18-2-1 (VDE V 0126-18-2-1):2007-06, DIN V VDE V 0126-18-2-2 (VDE V 0126-18-2-2):2007-06, DIN V VDE V 0126-18-2-3 (VDE V 0126-18-2-3):2007-06, DIN V VDE V 0126-18-2-4 (VDE V 0126-18-2-4):2007-06, DIN V VDE V 0126-18-3 (VDE V 0126-18-3):2007-06, DIN V VDE V 0126-18-4-1 (VDE V 0126-18-4-1):2007-06, DIN V VDE V 0126-18-4-2 (VDE V 0126-18-4-2):2007-06, DIN V VDE V 0126-18-5 (VDE V 0126-18-5):2007-06 und DIN V VDE V 0126-18-6 (VDE V 0126-18-6):2007-06** noch bis 2011-12-01 angewendet werden.

Nationales Vorwort

Vorausgegangener Norm-Entwurf: E DIN EN 50513 (VDE 0126-18-100):2008-05.

Für diese Norm ist das nationale Arbeitsgremium K 373 „Photovoltaische Solarenergie-Systeme“ der DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE (www.dke.de) zuständig.

Änderungen

Gegenüber **DIN V VDE V 0126-18-1 (VDE V 0126-18-1):2006-04, DIN V VDE V 0126-18-2-1 (VDE V 0126-18-2-1):2007-06, DIN V VDE V 0126-18-2-2 (VDE V 0126-18-2-2):2007-06, DIN V VDE V 0126-18-2-3 (VDE V 0126-18-2-3):2007-06, DIN V VDE V 0126-18-2-4 (VDE V 0126-18-2-4):2007-06, DIN V VDE V 0126-18-3 (VDE V 0126-18-3):2007-06, DIN V VDE V 0126-18-4-1 (VDE V 0126-18-4-1):2007-06, DIN V VDE V 0126-18-4-2 (VDE V 0126-18-4-2):2007-06, DIN V VDE V 0126-18-5 (VDE V 0126-18-5):2007-06 und DIN V VDE V 0126-18-6 (VDE V 0126-18-6):2007-06** wurden folgende Änderungen vorgenommen:

a) Überführung der Vornormen in eine Norm.

Frühere Ausgaben

**DIN V VDE V 0126-18-1 (VDE V 0126-18-1): 2006-04
DIN V VDE V 0126-18-2-1 (VDE V 0126-18-2-1): 2007-06
DIN V VDE V 0126-18-2-2 (VDE V 0126-18-2-2): 2007-06
DIN V VDE V 0126-18-2-3 (VDE V 0126-18-2-3): 2007-06
DIN V VDE V 0126-18-2-4 (VDE V 0126-18-2-4): 2007-06
DIN V VDE V 0126-18-3 (VDE V 0126-18-3): 2007-06
DIN V VDE V 0126-18-4-1 (VDE V 0126-18-4-1): 2007-06
DIN V VDE V 0126-18-4-2 (VDE V 0126-18-4-2): 2007-06
DIN V VDE V 0126-18-5 (VDE V 0126-18-5): 2007-06
DIN V VDE V 0126-18-6 (VDE V 0126-18-6): 2007-06**

Nationaler Anhang NA (informativ)

Zusammenhang mit Europäischen und Internationalen Normen

Für den Fall einer undatierten Verweisung im normativen Text (Verweisung auf eine Norm ohne Angabe des Ausgabedatums und ohne Hinweis auf eine Abschnittsnummer, eine Tabelle, ein Bild usw.) bezieht sich die Verweisung auf die jeweils neueste gültige Ausgabe der in Bezug genommenen Norm.

Für den Fall einer datierten Verweisung im normativen Text bezieht sich die Verweisung immer auf die in Bezug genommene Ausgabe der Norm.

Eine Information über den Zusammenhang der zitierten Normen mit den entsprechenden Deutschen Normen ist in Tabelle NA.1 wiedergegeben.

Tabelle NA.1

Europäische Norm	Internationale Norm	Deutsche Norm	Klassifikation im VDE-Vorschriftenwerk
EN 50461	–	DIN EN 50461	VDE 0126-17-1
EN ISO/IEC 17025	ISO/IEC 17025:2005	DIN EN ISO/IEC 17025	–
–	–	DIN 5043-2	–
–	–	DIN 50431	–
–	–	DIN 50432 zurückgezogen	–
–	–	DIN 50434 zurückgezogen	–
–	–	DIN 50438-1 zurückgezogen	–
–	–	DIN 50438-2 zurückgezogen	–
–	–	DIN 50441-1 zurückgezogen	–
–	–	DIN 50441-5 zurückgezogen	–
–	–	DIN 4760	–
–	–	DIN 4768 zurückgezogen	–
–	–	DIN 879-1	–
–	–	DIN 4774 zurückgezogen	–

Nationaler Anhang NB (informativ)

Literaturhinweise

DIN 4760, *Gestaltabweichungen; Begriffe, Ordnungssystem*

DIN 879-1, *Prüfen geometrischer Größen – Feinzeiger – Teil 1: Mit mechanischer Anzeige*

DIN 50431, *Radioaktive Leuchtpigmente und Leuchtfarben; Messbedingungen für die Leuchtdichte und Bezeichnung der Pigmente*

DIN 5043-2, *Radioaktive Leuchtpigmente und Leuchtfarben; Messbedingungen für die Leuchtdichte und Bezeichnungen der Leuchtfarben*

DIN EN 50461 (VDE 0126-17-1), *Solarzellen – Datenblattangaben und Angaben zum Produkt für kristalline Silicium-Solarzellen*

DIN EN ISO/IEC 17025, *Allgemeine Anforderungen an die Kompetenz von Prüf- und Kalibrierlaboratorien*

– Leerseite –

**Solarscheiben –
Datenblattangaben und Produktinformation für kristalline Silicium-Scheiben
zur Solarzellenherstellung**

Solar wafers –
Data sheet and product information for
crystalline silicon wafers for solar cell
manufacturing

Tranches de silicium solaires –
Fiche technique et information produit sur
les tranches au silicium cristallin pour la
fabrication de cellules solaires

Diese Europäische Norm wurde von CENELEC am 2008-12-01 angenommen. Die CENELEC-Mitglieder sind gehalten, die CEN/CENELEC-Geschäftsordnung zu erfüllen, in der die Bedingungen festgelegt sind, unter denen dieser Europäischen Norm ohne jede Änderung der Status einer nationalen Norm zu geben ist.

Auf dem letzten Stand befindliche Listen dieser nationalen Normen mit ihren bibliographischen Angaben sind beim Zentralsekretariat oder bei jedem CENELEC-Mitglied auf Anfrage erhältlich.

Diese Europäische Norm besteht in drei offiziellen Fassungen (Deutsch, Englisch, Französisch). Eine Fassung in einer anderen Sprache, die von einem CENELEC-Mitglied in eigener Verantwortung durch Übersetzung in seine Landessprache gemacht und dem Zentralsekretariat mitgeteilt worden ist, hat den gleichen Status wie die offiziellen Fassungen.

CENELEC-Mitglieder sind die nationalen elektrotechnischen Komitees von Belgien, Bulgarien, Dänemark, Deutschland, Estland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Lettland, Litauen, Luxemburg, Malta, den Niederlanden, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, Rumänien, Schweden, der Schweiz, der Slowakei, Slowenien, Spanien, der Tschechischen Republik, Ungarn, dem Vereinigten Königreich und Zypern.

CENELEC

Europäisches Komitee für Elektrotechnische Normung
European Committee for Electrotechnical Standardization
Comité Européen de Normalisation Electrotechnique

Zentralsekretariat: Avenue Marnix 17, B-1000 Brüssel

Vorwort

Diese Europäische Norm wurde von dem Technischen Komitee CENELEC TC 82 „Photovoltaische Solar-energie-Systeme“ ausgearbeitet.

Der Text des Entwurfs wurde dem Einstufigen Annahmeverfahren unterworfen und von CENELEC am 2008-12-01 als EN 50513 angenommen.

Nachstehende Daten wurden festgelegt:

- spätestes Datum, zu dem die EN auf nationaler Ebene durch Veröffentlichung einer identischen nationalen Norm oder durch Anerkennung übernommen werden muss (dop): 2009-12-01
- spätestes Datum, zu dem nationale Normen, die der EN entgegenstehen, zurückgezogen werden müssen (dow): 2011-12-01

Inhalt

	Seite
Vorwort	2
1 Anwendungsbereich	6
2 Normative Verweisungen.....	6
3 Begriffe.....	7
4 Kristallisationsverfahren.....	7
5 Produktbeschreibung	7
5.1 Angaben zu Abmessungen.....	7
5.2 Elektrische Kenngrößen.....	8
5.3 Oberflächen- und Kanteneigenschaften	8
5.4 Chemische Eigenschaften	9
5.5 Kristalleigenschaften	9
6 Verpackung, Kennzeichnung und Lagerung.....	9
6.1 Verpackung	9
6.2 Kennzeichnung	9
6.3 Lagerung	10
7 Wesentliche Änderungen am Produkt und am Prozess	10
8 Scheibendicke.....	10
8.1 Anwendungsbereich	10
8.2 Normative Verweisungen.....	10
8.3 Begriffe.....	10
8.4 Einheiten	11
8.5 Messeinrichtung	11
8.6 Messung.....	11
8.7 Auswertung	12
8.8 Prüfbericht.....	12
8.9 Präzision des Verfahrens.....	13
9 Dickenvariation	13
9.1 Anwendungsbereich	13
9.2 Normative Verweisungen.....	13
9.3 Begriffe.....	13
9.4 Einheiten	13
9.5 Messeinrichtung	13
9.6 Messung.....	14
9.7 Auswertung	15
9.8 Prüfbericht.....	15
9.9 Präzision des Verfahrens.....	15
10 Welligkeit und Durchbiegung	15
10.1 Anwendungsbereich	15

	Seite
10.2 Normative Verweisungen	15
10.3 Begriffe	15
10.4 Vereinbarungen	16
10.5 Prüfbericht	16
11 Rillen und Stufen	16
11.1 Anwendungsbereich	16
11.2 Begriffe	16
11.3 Einheiten	17
11.4 Vereinbarungen	17
11.5 Messgeräte	17
11.6 Messplan	18
11.7 Prüfbericht	19
12 Ätzrate	19
12.1 Anwendungsbereich	19
12.2 Begriffe	20
12.3 Durchführung	20
12.4 Auswertung	21
12.5 Prüfbericht	21
13 Verfahren zur Bestimmung Ladungsträgerlebensdauer gemessen an „as cut“-Scheiben	21
13.1 Anwendungsbereich	21
13.2 Bestimmung der Ladungsträgerlebensdauer	21
13.3 Allgemeine Messbedingungen	22
13.4 Auswertung	23
13.5 Prüfbericht	23
14 Verfahren zur Bestimmung der Masse-Minoritäts-Ladungsträgerlebensdauer an passivierten Scheiben (Labormessmethode)	24
14.1 Anwendungsbereich	24
14.2 Bestimmung der Ladungsträgerlebensdauer	24
14.3 Auswertung	25
14.4 Prüfbericht	25
15 Elektrischer Widerstand von multi- und monokristallinen Halbleiterscheiben	26
15.1 Anwendungsbereich	26
15.2 Normative Verweisungen	26
15.3 Begriffe	26
15.4 Einheiten	26
15.5 Messeinrichtungen	26
15.6 Kalibrierung	26
15.7 Probengrößen	26
15.8 Messung von Siliciumscheiben	27

	Seite
15.9 Prüfbericht.....	27
16 Verfahren zur Messung des Gehaltes von an als Substitutionsatome eingelagertem Kohlenstoff und an interstitiell gelöstem Sauerstoff in Silicium für Solarmaterial.....	27
16.1 Anwendungsbereich	27
16.2 Normative Verweisungen.....	27
16.3 Begriffe.....	28
16.4 Einheiten	28
16.5 Vereinbarungen	28
16.6 Messung.....	28
16.7 Prüfbericht.....	29
Anhang A (informativ) Geometrische Dimensionen, Oberflächen und Kanteneigenschaften.....	30
Anhang B (informativ) Optionale Anforderungen.....	33
Literaturhinweise	34
Bild 1 – Messstellenplan für quadratische und pseudoquadratische Siliciumscheiben.....	12
Bild 2 – Skizze einer Welligkeit	15
Bild 3 – Skizze einer Durchbiegung	16
Bild 4 – Skizze einer Rille in einer kristallinen Silicium-Solarscheibe	16
Bild 5 – Skizze einer Stufe in einer kristallinen Silicium-Solarscheibe.....	17
Bild 6 – Messplan für quadratische und pseudoquadratische Siliciumscheiben	18
Bild 7 – Messplan für Stufen	18
Bild 8 – Messplan für Rillen.....	19
Bild 9 – Messplan für die Ladungsträgerlebensdauer-Messung.....	23
Bild A.1 – Rechteckige Scheibe mit gerader Fase.....	30
Bild A.2 – Quadratische Scheibe mit runder Fase	30
Bild A.3 – Fehlerbilder zu Oberflächen- und Kanteneigenschaften	31
Bild A.4 – Kantenverdickung	31
Bild A.5 – Abweichung von der geraden Kante	32
Tabelle 1 – Oberflächen- und Kanteneigenschaften.....	8

1 Anwendungsbereich

Dieses Dokument beschreibt die Datenblattangaben und Angaben zum Produkt für kristalline Silicium(Si)-Solarscheiben und Messverfahren für Scheiben.

Es stellt notwendige Informationen bereit, um eine optimale Weiterverarbeitung zu Si-Solarzellen zu ermöglichen. Die [Abschnitte 5 bis 7](#) beschreiben die Datenblattinformationen mit technischen Beschreibungen der Si-Solarscheibe mit allen wesentlichen Kenngrößen zu verstehen.

Die Produktangaben betreffen die Verpackung, Kennzeichnung, Lagerung und beinhalten eine Verpflichtung zur Mitteilung von wesentlichen Änderungen am Produkt und am Prozess. Diese Angaben werden zur Weiterverarbeitung von Si-Solarscheiben zu Solarzellen benötigt. Die [Abschnitte 8 bis 16](#) beschreiben Messverfahren für Charakteristiken, die im Datenblatt angegeben werden.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden zitierten Dokumente sind für die Anwendung dieses Dokuments erforderlich. Bei datierten Verweisungen gilt nur die in Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen).

[EN 50461](#), *Solarzellen – Datenblattangaben und Angaben zum Produkt für kristalline Silicium-Solarzellen*

EN ISO/IEC 17025, *Allgemeine Anforderungen an die Kompetenz von Prüf- und Kalibrierlaboratorien (ISO/IEC 17025)*

DIN 5043-2, *Radioaktive Leuchtpigmente und Leuchtfarben – Messbedingungen für die Leuchtdichte und Bezeichnungen der Leuchtfarben*

DIN 50431, *Prüfung von Materialien für die Halbleitertechnologie – Messung des spezifischen elektrischen Widerstandes von Einkristallen aus Silicium oder Germanium mit dem Vier-Sonden-Gleichstrom-Verfahren bei linearer Anordnung der Sonden*

DIN 50432, *Prüfung halbleitender anorganischer Stoffe – Bestimmung des Leitungstyps von Silicium oder Germanium mittels Richttest oder Thermosonde (zurückgezogen)*

DIN 50434, *Prüfung von Materialien für die Halbleitertechnologie - Nachweis von Kristalldefekten in Silicium-Einkristallen mittels Ätztechnik an {111}- und {100}-Flächen (ASTM F 47)*

DIN 50438-1, *Prüfung von Materialien für die Halbleitertechnologie – Bestimmung des Verunreinigungsgehaltes in Silicium mittels Infrarot-Absorption – Teil 1: Sauerstoff*

DIN 50438-2, *Prüfung von Materialien für die Halbleitertechnologie – Bestimmung des Verunreinigungsgehaltes in Silicium mittels Infrarot-Absorption – Teil 2: Kohlenstoff*

DIN 50441-1, *Prüfung von Materialien für die Halbleitertechnologie – Messung der geometrischen Dimensionen von Halbleiterscheiben – Teil 1: Dicke und Dickenvariation*

DIN 50441-5, *Prüfung von Materialien für die Halbleitertechnologie – Messung der geometrischen Dimensionen von Halbleiterscheiben – Teil 5: Begriffe zur Gestalts- und Ebenheitsabweichung*

DIN 4760, *Gestaltabweichungen – Begriffe, Ordnungssystem*

DIN 4768, *Ermittlung der Rauheitskenngrößen R_a , R_z , R_{max} mit elektrischen Tastschnittgeräten – Begriffe, Messbedingungen*

DIN 879-1, *Prüfen geometrischer Größen – Feinzeiger – Teil 1: Mit mechanischer Anzeige*

DIN 4774, *Messung der Wellentiefe mit elektrischen Tastschnittgeräten*

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die folgenden Begriffe.

3.1

Block

größte zusammenhängende Siliciumeinheit nach dem Kristallisationsprozess

3.2

Säule

Siliciumhalbfabrikat nach der Blockbearbeitung mit der Grundfläche der späteren Scheibe

3.3

Scheibe

Endprodukt der Siliciumverarbeitung, das das Eingangsprodukt für die Solarzellenherstellung ist

3.4

Losgröße

kleinste Mengeneinheit an Scheiben, für die die Rückverfolgbarkeit gewährleistet wird

3.5

Dickenvariation

Δd

(en: Total Thickness Variation)

TTV

größte Differenz zwischen mehreren Messwerten der Scheibendicke

3.6

Ätzgrubendichte

EPD

(en: Etch Pit Density)

Anzahl der Versetzungsätzgruben je Flächeneinheit

4 Kristallisationsverfahren

Das Kristallisationsverfahren ist anzugeben, z. B. Blockguss, Bridgman.

5 Produktbeschreibung

5.1 Angaben zu Abmessungen

Siehe [Anhang A](#).

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 (nach Abschnitt 8)
TTV:	Maximalwert (nach Abschnitt 9)
Angabe zur Rechtwinkligkeit (sofern anwendbar):	Angabe der maximalen Grenzabweichung vom 90° Winkel in Grad

ANMERKUNG 1 Es darf eine Ausgleichsgerade zur Bestimmung der idealen Scheibenkanten angewandt werden.

Angaben zur Art der Ecke:

- Gerade Fase: Hypotenusenlänge als Fasenbreite (H) und Winkel zwischen Scheibenkante und Hypotenuse (α) (siehe [Bild A.1](#))
- Runde Fase: Kathetenlänge (D) und Durchmesser des runden Kristalls (E) (siehe [Bild A.2](#))

Angaben zur Welligkeit und Durchbiegung: (nach [Abschnitt 10](#)).

ANMERKUNG 2 Alle Messungen sind bei Standardmessraumklima (25 ± 2) °C durchzuführen.

5.2 Elektrische Kenngrößen

Angabe des Dotierstoffs (B, P, Ga ...) und Leitungstyp (p oder n).

Angabe des Widerstands nach [Abschnitt 15](#) mit Grenzwertangabe in Ωcm .

Mindestwert der gemittelten effektiven Minoritäts-Ladungsträgerlebensdauer (bei multikristallinem Material an der Scheibe, bei monokristallinem Material an einer Stirnseite des Blocks, gemessen mit μ -PCD oder QSSPC nach [Abschnitt 13](#) oder [Abschnitt 14](#)).

5.3 Oberflächen- und Kanteneigenschaften

Angabe der maximalen zulässigen Defekte an der Scheibe, z. B. Ausmuschelungen, Kantenausbrüche, Kantenabbrüche, Pinholes, Sägeriefen, Risse, Kantenverdickungen (siehe [Bilder A.3 bis A.5](#)).

Tabelle 1 – Oberflächen- und Kanteneigenschaften

Begriff	Beschreibung	Spezifikation
Oberflächen-Absplitterungen	Absplitterungen (Ausmuschelungen) an der Scheibenoberfläche	Maximal zulässige Länge, Breite und Anzahl (und Ausschluss von Positionen, falls gefordert)
Risse	Technisch erkennbare Risse	Maximal zulässige Länge und Anzahl
Löcher	Durchgehende und nicht durchgehende Löcher aller Größen (z. B. durch Luft einschüsse während des Ziehprozesses)	Maximal zulässige Länge, Breite und Anzahl (und Ausschluss von Positionen, falls gefordert)
Einschlüsse	Visuell erkennbare Einschlüsse von Fremdmaterial in der Siliciummatrix, die die elektrischen, chemischen oder optischen Eigenschaften der Scheibe beeinflussen	Maximal zulässige Anzahl (und Dimensionen, falls gefordert)
Sichtbare Oberflächenverunreinigungen	Mit bloßem Auge erkennbare Verunreinigungen	Art und maximal zulässige Größe
Nicht sichtbare Oberflächenverunreinigungen	Die Beurteilung kann durch Angabe einer Ätzrate nach Abschnitt 12 geschehen.	Art und maximal zulässige Größe
Riefen, Rillen	Riefen, wie sie typischerweise durch Fehler im Sägeprozess entstehen können; Messung nach Abschnitt 11	Maximal zulässige Tiefe und Anzahl (je Flächeneinheit)
Stufen	Stufen, wie sie typischerweise durch Fehler im Sägeprozess entstehen können; Messung nach Abschnitt 11	Maximal zulässige Tiefe und Anzahl (je Flächeneinheit)
<u>Absplitterung</u> , Muschel- ausbruch	Absplitterung an der Scheibenkante, die im Gegenlicht nicht erkennbar ist (siehe Bild A.3a)	Maximal zulässige Länge, Breite und Anzahl (und Ausschluss von Positionen, falls gefordert)

Tabelle 1 – Oberflächen- und Kanteneigenschaften (fortgesetzt)

Begriff	Beschreibung	Spezifikation
Kantenverdickung (LAFT) (en: Local thickness fluctuations)	Eine lokale Verdickung der Scheibenkante, die durch eine Messung von TTV_{PV} nach Abschnitt 9 nicht erfasst wird (siehe Bild A.4)	Längenbereich a und max. zulässige Grenzwerte für Parameter b und c
<u>V-Kerben</u> , V-Ausbrüche, nicks	Durchgehende, im Gegenlicht erkennbare V-förmige (Eckradius < 0,3 mm) Kerben/Ausbrüche an der Scheibenkante (siehe Bild A.3 b)	Maximal zulässige Länge, Breite und Anzahl
<u>Kerben</u> , Ausbrüche (nicht V-förmig)	Durchgehende, im Gegenlicht erkennbare nicht V-förmige (Eckradius < 0,3 mm) Kerben/Ausbrüche an der Scheibenkante (siehe Bild A.3 c)	Maximal zulässige Länge, Breite und Anzahl
Kantenabweichung	Abweichung von der idealen Kante, die durch eine Ausgleichsgerade, bestimmt durch die Minimierung der Fehlerquadrate, angenähert wird (siehe Bild A.5)	Maximale Abweichung von der Ausgleichsgeraden und minimale Wellenlänge
ANMERKUNG Bei alternativen Bezeichnungen ist die bevorzugte Bezeichnung durch <u>Unterstreichung</u> gekennzeichnet.		

5.4 Chemische Eigenschaften

Angabe des Sauerstoff- und Kohlenstoffgehalts nach [Abschnitt 16](#).

5.5 Kristalleigenschaften

ANMERKUNG Die folgenden Angaben beziehen sich nur auf monokristallines Material.

Angabe der Ätzgrubendichte (EPD), in cm^{-2} nach DIN 50434 oder SEMI MF1725-1103, SEMI MF1809-0704, SEMI MF1810-0304.

Angabe der Kristallorientierung mit Grenzabweichung

Ausrichtung der kristallografischen Orientierung zur Scheibenkante

Alle Angaben sind mit Grenzabweichungen zu versehen.

6 Verpackung, Kennzeichnung und Lagerung

6.1 Verpackung

- Verpackungseinheit
- Verpackungsart

6.2 Kennzeichnung

Jede kleinste Verpackungseinheit muss wie folgt gekennzeichnet sein:

- Artikelbezeichnung;
- Loskennzeichnung;
- Menge.

6.3 Lagerung

- Angaben zur Stapelfähigkeit
- Umgebungsbedingungen bei Lagerung

7 Wesentliche Änderungen am Produkt und am Prozess

Alle wesentlichen Änderungen am Produkt oder am Herstellungsprozess, die möglicherweise den Solarzellenprozess oder das Produkt Solarzelle beeinflussen können, sind mitzuteilen.

8 Scheibendicke

8.1 Anwendungsbereich

Dieses Verfahren beschreibt, wie die Dicke von kristallinen Siliciumscheiben zu bestimmen ist, wobei berührungsfreie oder berührend arbeitende Dickenmessgeräte verwendet werden können.

8.2 Normative Verweisungen

Diese Norm lehnt sich an Teile der DIN 50441-1 an und enthält weiterhin durch datierte und undatierte Verweisungen Festlegungen aus anderen Publikationen. Diese normativen Verweisungen sind an den jeweiligen Stellen im Text zitiert, und die Publikationen sind: EN ISO/IEC 17025, DIN 4760, DIN 4768 und DIN 879-1 (siehe auch [Abschnitt 2](#)).

Bei datierten Verweisungen gehören spätere Änderungen oder Überarbeitungen dieser Publikationen nur zu dieser Norm, falls sie durch Änderung oder Überarbeitung eingearbeitet worden sind. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe der in Bezug genommenen Publikation.

8.3 Begriffe

8.3.1

Dicke

örtlich variabler Abstand zwischen den Ist-Oberflächen der Vorderseite und der Rückseite einer Scheibe, wobei die Ist-Oberfläche die nach DIN 4760 messtechnisch erfasste Oberfläche ist

ANMERKUNG Häufig wird jedoch auch die Zentrumsdicke (Dicke d_5 in der Mitte der Scheibe an der Messstelle 5 nach Bild 1) einer Scheibe vereinfacht als Dicke bezeichnet.

8.3.2

mittlere Dicke

d_m

Mittelwert aus den 5 Messwerten d_1, d_5, d_8, d_{11} und d_{15} an den Messstellen 1, 5, 8, 11 und 15 nach [Bild 1](#)

$$d_m = \frac{d_1 + d_2 + d_3 + d_4 + d_5}{5} \quad (1)$$

Weiterhin kann die mittlere Dicke auch aus einer Wägung der Scheibe unter Berücksichtigung der Scheibenfläche und der Dichte von Silicium ermittelt werden.

8.3.3

Zentrumsdicke

Die Dicke d_8 in der Mitte der Scheibe an der Messstelle 8 nach [Bild 1](#)

$$d = d_8 \quad (2)$$

8.4 Einheiten

Alle in 8.3.1 bis 8.3.3 genannten Messgrößen werden in Mikrometer angegeben.

8.5 Messeinrichtung

8.5.1 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 $2\ \text{mm}^2$ 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 $10\ \text{mm}$.
- Feinwaage mit einer Genauigkeit von $\pm 1\ \text{mg}$ zur Bestimmung der Scheibendicke mittels Wägung nach 8.3.2.

8.5.2 Dicken-Kalibriernormale

Es ist ein Satz von Dicken-Kalibriernormalen für den Dickenbereich von $50\ \mu\text{m}$ bis $350\ \mu\text{m}$, zweckmäßig abgestuft in Stufen von $50\ \mu\text{m}$, zu verwenden. Die Kalibriernormale müssen auf nationale Normale rückführbar und ihre Dickenwerte auf $1,0\ \mu\text{m}$ bekannt sein. Die Normale müssen beidseitig glatte Oberflächen mit einer mittleren Oberflächenrauheit $R_a < 0,2\ \mu\text{m}$, gemessen nach DIN 4768, besitzen, Normale aus Halbleitermaterial sollten poliert oder glanzgeätzt sein. Bei berührungsloser elektrischer Messung müssen die Kalibriernormale aus einem elektrisch gleichwertigen Material wie die der zu messenden Proben bestehen. Die Temperaturen von Kalibrierung und Messung dürfen nicht mehr als $2\ \text{K}$ voneinander abweichen.

8.5.3 Justierung und Kalibrierung

Aus dem Satz der Dicken-Kalibriernormale wird das Normal ausgewählt, dessen Dicke jener der zu messenden Scheiben am nächsten liegt. Die Dickenanzeige wird nach den Instruktionen des Messgeräteherstellers so justiert, dass der gemessene Wert des Kalibriernormals auf $\pm 1,0\ \mu\text{m}$ mit seinem Sollwert übereinstimmt.

Anschließend werden ohne Veränderung der Justierung jene beiden Kalibriernormale gemessen, die bis zu $50\ \mu\text{m}$ dicker und bis zu $50\ \mu\text{m}$ dünner sind als das zur Justierung verwendete Normal. Die so ermittelten Messwerte dieser Normale müssen ebenfalls auf $\pm 1,0\ \mu\text{m}$ mit ihren Sollwerten übereinstimmen. Weicht einer dieser Messwerte um mehr als $\pm 1,0\ \mu\text{m}$ vom Sollwert ab, ist das betreffende Messgerät für Messungen nach dieser Norm nicht geeignet.

8.6 Messung

8.6.1 Messstellenplan

Die Dicke von Siliciumscheiben mit der Seitenlänge a wird nach Bild 1 an 5 Stellen gemessen: Positionen 1, 5, 8, 11 und 15. Messstelle 8 liegt in der Mitte der Scheibe und befindet sich auf dem Schnittpunkt beider Diagonalen.

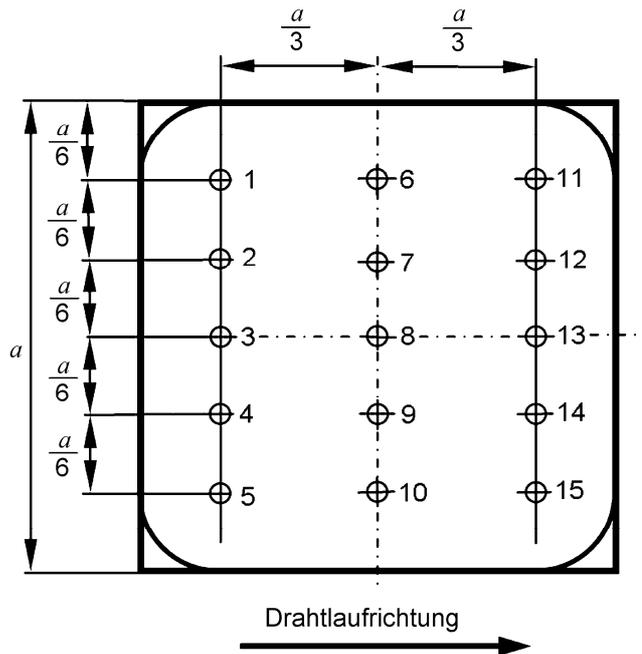


Bild 1 – Messstellenplan für quadratische und pseudoquadratische Siliciumscheiben

8.6.2 Durchführung

Die Scheibe wird in die Messaufnahme eingelegt und so positioniert, dass Messstelle 1 innerhalb ± 2 mm zwischen den beiden Messführlern (Sensoren) des Messgeräts liegt. Die Messung erfolgt nach Messstellenplan (siehe Bild 1).

8.6.3 Einfluss der Oberflächenrauheit

Berührende und berührungslose Messverfahren reagieren auf die Eigenschaften der Proben, insbesondere auf ihre Oberflächenrauheit, in unterschiedlicher Weise. Während berührungslose Sensoren die Oberfläche in einer mittleren Tiefe des mikroskopischen Oberflächenprofils sehen, ist für mechanische Taster das Umhüllende des mikroskopischen Oberflächenprofils maßgeblich.

Die Differenz der Messwerte von mechanischen und berührungslosen Messgeräten liegt in der Größenordnung des Mittenrauhwertes R_a . Falls dies nicht vernachlässigbar ist, muss zwischen Hersteller und Anwender vereinbart werden, ob Messungen mit mechanischen oder berührungslosen Messgeräten durchzuführen sind.

8.7 Auswertung

Aus den 5 Messwerten d_1 bis d_5 werden d_m und d_z nach den Gleichungen (1) und (2) berechnet. Da die Bestimmung der Dickenvariation nach dieser Norm nur auf 5 Messwerten basiert, werden irreguläre geometrische Variationen in anderen Gebieten der Scheibe nicht erfasst.

8.8 Prüfbericht

Der Prüfbericht muss die mit EN ISO/IEC 17025 geforderten Angaben enthalten.

Er sollte auch folgende Angaben einschließen:

- Art und Bezeichnung der Probe;
- Zentrumsdicke d_z ;

- mittlere Dicke d_m ;
- gegebenenfalls Abweichungen von dieser Norm.

Entsprechend den jeweiligen Anforderungen sollte der Prüfbericht die folgende Angabe nach 8.9 „Präzision des Verfahrens“ enthalten.

8.9 Präzision des Verfahrens

Die Vergleichsstandardabweichung s_R des Verfahrens beträgt $2 \mu\text{m}$ für d_z und d_m .

9 Dickenvariation

9.1 Anwendungsbereich

Dieses Verfahren beschreibt die Messung zur Bestimmung der Dickenvariation (TTV_{PV}) von kristallinen Siliciumscheiben, wobei sowohl berührungsfreie als auch berührend arbeitende Dickenmessgeräte verwendet werden können.

9.2 Normative Verweisungen

Diese Norm lehnt sich an Teile der DIN 50441-1 an und enthält weiterhin durch datierte und undatierte Verweisungen Festlegungen aus anderen Publikationen. Diese normativen Verweisungen sind an den jeweiligen Stellen im Text zitiert, und die Publikationen sind: EN ISO/IEC 17025, DIN 50441-5, DIN 4760, DIN 4768 und DIN 879-1 (siehe auch [Abschnitt 2](#)).

Bei datierten Verweisungen gehören spätere Änderungen oder Überarbeitungen dieser Publikationen nur zu dieser Norm, falls sie durch Änderung oder Überarbeitung eingearbeitet worden sind. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe der in Bezug genommenen Publikation.

9.3 Begriffe

9.3.1

Dickenvariation

Δd

TTV

größte Differenz zwischen den 15 Messwerten d_1 bis d_{15} an den Messstellen 1 bis 15 nach [Bild 1](#)

$$\Delta d = \max(d_1, d_2, d_3, d_4, \dots, d_{15}) - \min(d_1, d_2, d_3, d_4, \dots, d_{15}) \quad (3)$$

9.4 Einheiten

Alle in 9.3.1 genannten Messgrößen werden in Mikrometer angegeben.

9.5 Messeinrichtung

9.5.1 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 2mm^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.

9.5.2 Dicken-Kalibriernormale

Es ist ein Satz von Dicken-Kalibriernormalen für den Dickenbereich von 50 µm bis 350 µm, zweckmäßig abgestuft in Stufen von 50 µm, zu verwenden. Die Kalibriernormale müssen auf nationale Normale rückführbar und ihre Dickenwerte auf 1,0 µm bekannt sein. Die Normale müssen beidseitig glatte Oberflächen mit einer mittleren Oberflächenrauheit $R_a < 0,2$ µm, gemessen nach DIN 4768, besitzen, Normale aus Halbleitermaterial sollten poliert oder glanzgeätzt sein. Bei berührungsloser elektrischer Messung müssen die Kalibriernormale aus einem elektrisch gleichwertigen Material wie die zu messenden Proben bestehen. Die Temperaturen von Kalibrierung und Messung dürfen nicht mehr als 2 K voneinander abweichen.

9.5.3 Justierung und Kalibrierung

Aus dem Satz der Dicken-Kalibriernormale wird das Normal ausgewählt, dessen Dicke jener der zu messenden Scheiben am nächsten liegt. Die Dickenanzeige wird nach den Instruktionen des Messgeräteherstellers so justiert, dass der gemessene Wert des Kalibriernormals auf $\pm 1,0$ µm mit seinem Sollwert übereinstimmt.

Anschließend werden ohne Veränderung der Justierung jene beiden Kalibriernormale gemessen, die bis zu 50 µm dicker und bis zu 50 µm dünner sind als das zur Justierung verwendete Normal. Die so ermittelten Messwerte dieser Normale müssen ebenfalls auf $\pm 1,0$ µm mit ihren Sollwerten übereinstimmen. Weicht einer dieser Messwerte um mehr als $\pm 1,0$ µm vom Sollwert ab, ist das betreffende Messgerät für Messungen nach dieser Norm nicht geeignet.

9.6 Messung

9.6.1 Messstellenplan

Die Dickenvariation quadratischer/pseudoquadratischer Halbleiterscheiben der Seitenlänge a wird nach [Bild 1](#) an 15 Stellen gemessen. Die Messstellen 1 bis 5 und 11 bis 15 befinden sich in dem Abstand $a/6$ von der Scheibenkante und $a/3$ von den Messpunkten 6 bis 10, welche auf der senkrecht zur Drahtlaufrichtung stehenden Symmetrielinie liegen. Der Abstand der Zentren der Messstellen in den 3 Messspuren untereinander beträgt $a/6$.

9.6.2 Durchführung

Die Scheibe wird in die Messaufnahme eingelegt und so positioniert, dass Messstelle 8 innerhalb ± 2 mm zwischen den beiden Messfühlern (Sensoren) des Messgeräts liegt. Die Messung erfolgt nach Messstellenplan (siehe [Bild 1](#)). Die zeitliche Reihenfolge der Messung der Messstellen ist unabhängig von ihrer Bezeichnung und kann hiervon abweichend durchgeführt werden.

9.6.3 Einfluss der Oberflächenrauheit

Berührende und berührungslose Messverfahren reagieren auf die Eigenschaften der Proben, insbesondere auf ihre Oberflächenrauheit, in unterschiedlicher Weise. Während berührungslose Sensoren die Oberfläche in einer mittleren Tiefe des mikroskopischen Oberflächenprofils sehen, ist für mechanische Taster das Umhüllende des mikroskopischen Oberflächenprofils maßgeblich.

Die Differenz der Messwerte von mechanischen und berührungslosen Messgeräten liegt in der Größenordnung des Mittenrauhwertes R_a . Falls dies nicht vernachlässigbar ist, muss zwischen Hersteller und Anwender vereinbart werden, ob Messungen mit mechanischen oder berührungslosen Messgeräten durchzuführen sind.

9.7 Auswertung

Aus den 15 Messwerten d_1 bis d_{15} wird, nach 9.3.1, Δd gemäß Gleichung (3) berechnet. Da die Bestimmung der Dickenvariation nach dieser Norm nur auf 15 Messwerten basiert, werden irreguläre geometrische Variationen in anderen Gebieten der Scheibe nicht erfasst. Sollen auch solche Abweichungen bestimmt werden, ist eine ganzflächige Ebenheitsmessung durchzuführen und die globale Dickenvariation (TTV, vgl. DIN 50441-5) zu ermitteln.

9.8 Prüfbericht

Der Prüfbericht muss die mit EN ISO/IEC 17025 geforderten Angaben enthalten.

Er sollte auch folgende Angaben einschließen:

- Art und Bezeichnung der Probe;
- Art und Bezeichnung der verwendeten Messgeräte;
- Dickenvariation (TTV_{PV}) Δd ;
- gegebenenfalls Abweichungen von dieser Norm.

9.9 Präzision des Verfahrens

Die Vergleichsstandardabweichung s_R des Verfahrens beträgt $4 \mu\text{m}$ für Δd .

10 Welligkeit und Durchbiegung

10.1 Anwendungsbereich

Das Verfahren für diese Messungen dient dazu, die Werte für die Welligkeit und die Durchbiegung von kristallinen Siliciumscheiben zu bestimmen. Die Messung der Welligkeit erfolgt nach DIN 4774.

10.2 Normative Verweisungen

Diese normativen Verweisungen sind an den jeweiligen Stellen im Text zitiert, und die Publikationen sind: EN ISO/IEC 17025, DIN 4760, DIN 4768, DIN 879-1, DIN 4774 (siehe auch [Abschnitt 2](#)).

Bei datierten Verweisungen gehören spätere Änderungen oder Überarbeitungen dieser Publikationen nur zu dieser Norm, falls sie durch Änderung oder Überarbeitung eingearbeitet worden sind. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe der in Bezug genommenen Publikation.

10.3 Begriffe

10.3.1

Welligkeit

eine überwiegend periodisch auftretende Gestaltabweichung einer Oberfläche mit Wellenlängen λ größer 3 mm ; die lokalen maximalen Amplituden a werden über eine Messstrecke von 10 cm ermittelt (siehe Bild 2)

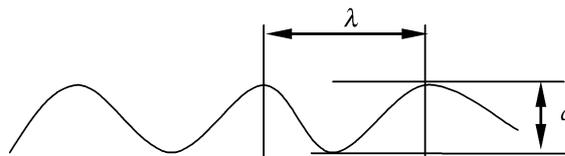


Bild 2 – Skizze einer Welligkeit

10.3.2

Durchbiegung z

ist, bei Auflegen der Scheibe auf eine ebene Unterlage, der Abstand zwischen der Unterlage und dem höchsten Punkt a der Scheibe minus die Scheibendicke d (siehe Bild 3)

$$z = a - d \quad (4)$$

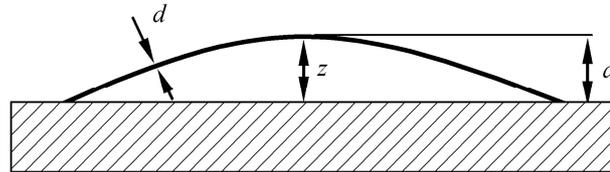


Bild 3 – Skizze einer Durchbiegung

10.4 Vereinbarungen

Die Grenzwerte für die Werte a und λ für die Welligkeit und der Wert z für die Durchbiegung in 10.3 und auch die Messmethode (z. B. DIN 4774 für die Welligkeit) sollten zwischen den betroffenen Stellen vereinbart werden.

10.5 Prüfbericht

Der Prüfbericht muss die mit EN ISO/IEC 17025 geforderten Angaben enthalten.

Er sollte auch folgende Angaben einschließen:

- Art und Bezeichnung der verwendeten Messgeräte;
- maximale Welligkeit und Durchbiegung für jede geprüfte Scheibe.

11 Rillen und Stufen

11.1 Anwendungsbereich

Diese Messung dient zur Bestimmung der Tiefe von Stufen und Rillen an kristallinen Silicium-Solarscheiben. Die Stufen und Rillen werden durch das Sägen verursacht, daher auch als Sägeriefen bezeichnet, und deshalb treten sie als Linien über der Scheibenoberfläche auf.

11.2 Begriffe

11.2.1 Sägeriefen in Rillenform

Diese Sägeriefen sind lokale Vertiefungen in der Oberfläche der Siliciumscheibe mit der Tiefe t , wie in Bild 4 gezeigt.

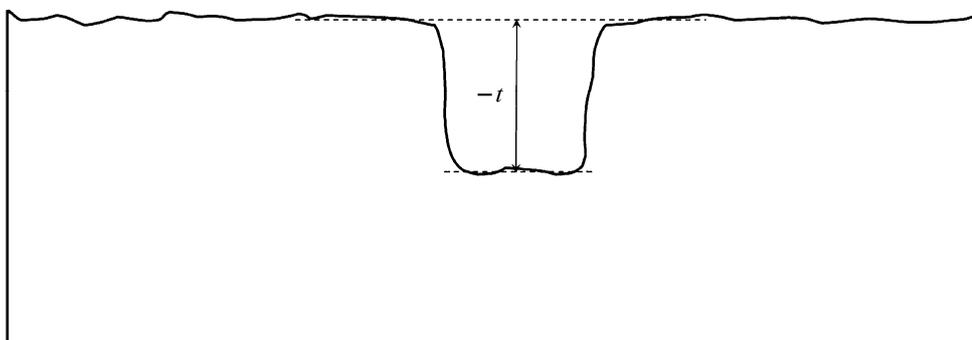


Bild 4 – Skizze einer Rille in einer kristallinen Silicium-Solarscheibe

11.2.2 Sägeriefen in Stufenform

Diese Sägeriefen sind permanente Veränderungen der Oberflächenhöhe einer Silicium-Solarscheibe mit der Stufenhöhe h wie in Bild 5 gezeigt.

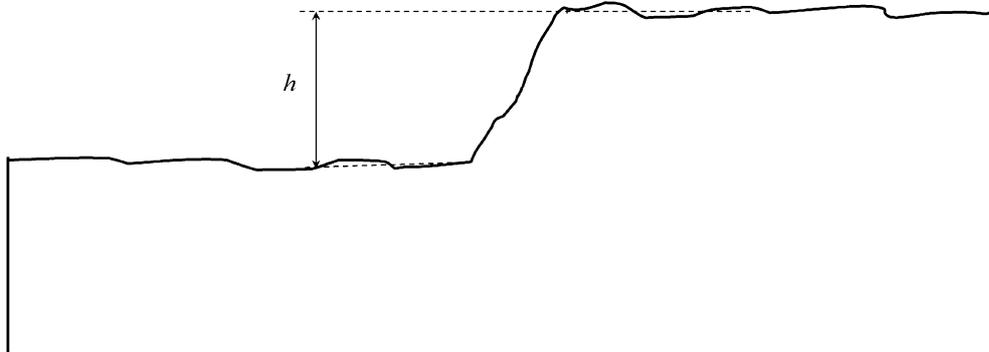


Bild 5 – Skizze einer Stufe in einer kristallinen Silicium-Solarscheibe

11.3 Einheiten

Die Höhe und Breite der Stufen wie auch die Höhe und Tiefe der Rillen werden in μm angegeben. Die Fenstergröße wird ebenfalls in μm angegeben.

11.4 Vereinbarungen

Die Grenzwerte für die maximal erlaubte Anzahl sowie die maximal erlaubte Höhe von Stufen und die maximal erlaubte Tiefe von Rillen muss zwischen Solarscheiben- und Solarzellenhersteller vereinbart werden.

11.5 Messgeräte

Für die Bestimmung der Sägeriefen ist ein linienförmig abtastendes System einzusetzen. Die Abtastung erfolgt über die Scheibenoberfläche, senkrecht zu den Sägespuren. Eine oder mehrere parallele Abtastlinien können genutzt werden, daraus ergibt sich die Anzahl der Oberflächenprofile.

Die Position der Abtastlinien ist in Bild 6 festgelegt.

Alle geeigneten Abtastmethoden, etwa optische, kapazitive oder mechanische, können für die Erfassung des Oberflächenprofils eingesetzt werden, vorausgesetzt die laterale Mindestauflösung der Messeinrichtung ist besser oder gleich $10\ \mu\text{m}$ und die Auflösung in z-Richtung ist besser oder gleich $1\ \mu\text{m}$. Für Messungen in der Fertigung (Inline) kann die Auflösung in der lateralen Richtung auf $50\ \mu\text{m}$ reduziert werden und in der z-Richtung auf $2\ \mu\text{m}$. Die Abtastung sollte über die komplette Scheibenlänge durchgeführt werden, um auch Rillen und Stufen an den Enden der Scheibe erkennen zu können.

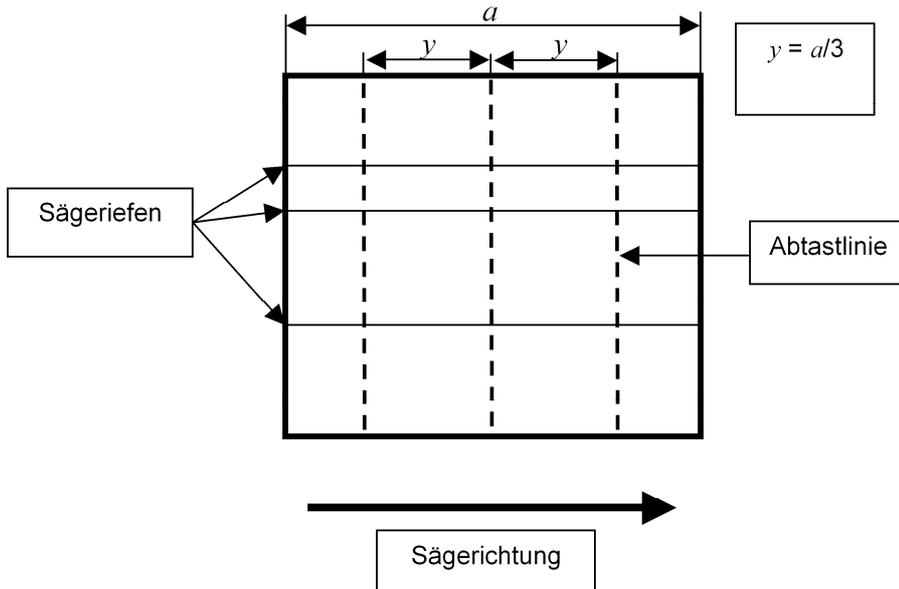


Bild 6 – Messplan für quadratische und pseudoquadratische Siliciumscheiben

11.6 Messplan

Bei einer sorgfältigen Auswahl an Größe und Anzahl von Abtastfenstern sollten die Positionen, Breite, Höhe und Anzahl der Sägeriefen problemlos erfasst werden. Die Abtastfenstergröße sollte so gewählt werden, dass sie groß genug ist, um die breitesten Rillen zu erfassen, aber auch klein genug, um zu verhindern, dass eine Abweichung innerhalb eines größeren Bereichs wie z. B. einer Scheiben-Biegung in das Ergebnis einfließt. Ein Vorschlag zur Abtastfensterbreite ist 4 mm. In den meisten Fällen ist ein einziges Abtastfenster ausreichend. In diesem Fall wird nur die größte Sägeriefe gefunden.

Der Messplan muss sicherstellen, dass eine lokale Erhöhung an der Ecke der Scheibe, die nicht mittels der TTV_{PV}-Messung nach [Abschnitt 9](#) (siehe [Bild A.4](#)) festgestellt wurde, nicht als Sägerille in Rillen- oder Stufenform gemäß diesem Abschnitt klassifiziert wird.

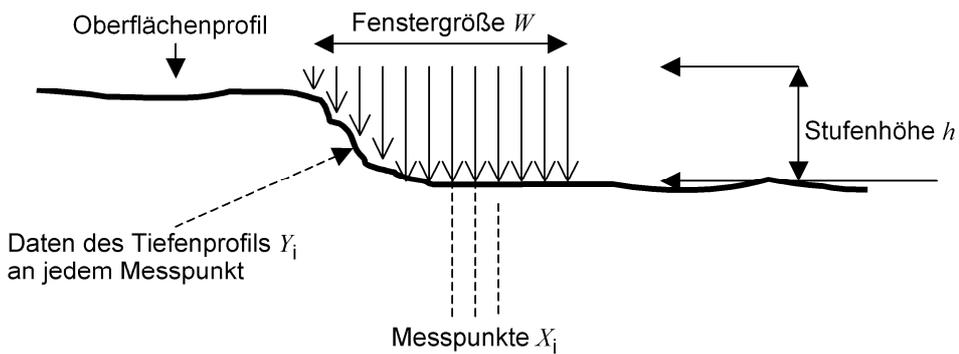


Bild 7 – Messplan für Stufen

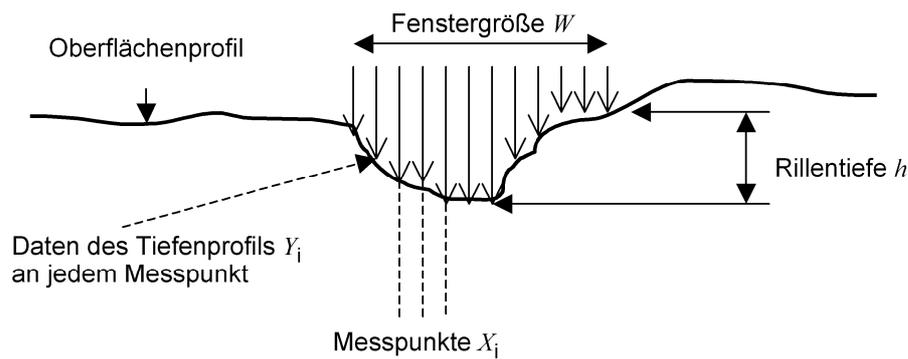


Bild 8 – Messplan für Rillen

Die Auswertung geschieht wie folgt:

- 1) Bestimmen einer praktikablen Fenstergröße zur Erkennung der unterschiedlichen Arten von Rillen und Stufen. Abhängig von der Art der Messeinrichtung können viele unterschiedliche Fenstergrößen gleichzeitig für die gleiche Messung verwendet werden.
- 2) Start der Abtastung von der Kante der Solarscheibe aus und Berechnung des Abstandes t_i für das Fenster W_i wie folgt:

$$t_i = \max(Y_i) - \min(Y_i) \quad (5)$$

Dabei sind Y_i die Tiefenwerte für jeden Messpunkt innerhalb des Fensters W_i

- 3) Das Abtastfenster wird zur nächsten Messposition geführt, W_{i+1} , analog dazu wird die gleiche Berechnung wie in Punkt 2 durchgeführt.
- 4) Wiederholung von Punkt 3, bis die komplette Oberfläche abgetastet ist.
- 5) Aus den aufgenommenen Werten sind die maximalen Rillen und Stufen zu berechnen mit

$$t = \max(t_i) \quad (6)$$

11.7 Prüfbericht

Der Prüfbericht muss die mit EN ISO/IEC 17025 geforderten Angaben enthalten.

Er sollte auch folgende Angaben einschließen:

- Art und Bezeichnung der verwendeten Messgeräte;
- maximale Rillentiefe und Stufenhöhe für jede untersuchte Siliciumscheibe;
- gegebenenfalls Abweichung von dieser Norm.

12 Ätzrate

12.1 Anwendungsbereich

Das Verfahren für diese Messung legt fest, wie der Ätzabtrag an kristallinen Siliciumscheiben für die Photovoltaik im Zustand „as cut“ zu bestimmen ist. Mit diesem Ätzverfahren wird der auf der Scheibenoberfläche im Drahttrenn-Läpp-Prozess erzeugte Damagebereich chemisch entfernt.

12.2 Begriffe

12.2.1

Ätzrate

r_E

Abtrag des Siliciummaterials, in nm/min, der beim nasschemischen Ätzprozess von der Oberfläche der Scheibe entfernt wird

12.2.2

Ätzdauer

t_R

Zeit, in der die Siliciumscheibe der Ätzlösung ausgesetzt ist, in min

12.3 Durchführung

12.3.1 Vorbereitung der Scheiben

- Zur Bestimmung des Ätzabtrages ist es erforderlich, die geometrischen Abmessungen der Scheiben unter Berücksichtigung vorhandener Abrundungen an den Scheibenecken genau zu bestimmen.
- Zur Gewährleistung der Probenidentität erhält die unbehandelte Scheibe eine Probenbezeichnung, die mittels Diamantstift auf die Scheibe geschrieben (eingekratzt) wird.
- Die Masse einer jeden Scheibe ist mit einer Genauigkeit von $\pm 0,0002$ g zu notieren.
- Die vorbereiteten Scheiben werden vor dem Einbringen in das Ätzbad in Kunststoff-Carrier überführt.
- Besonderes Augenmerk ist auf das sorgfältige Handling der Scheibe zu richten, um Brüche, Finger-spuren oder Verunreinigungen zu vermeiden (die Scheibe ausschließlich mit kunststoffbeschichteter Pinzette am Rand fassen).

12.3.2 Herstellung der Ätzlösung

- Zur Herstellung der 20%igen NaOH-Ätzlösung werden 1 200 g Natrium-Hydroxid p.a. in Plätzchenform in einem geeigneten Gefäß (Schliffgefäß 6 l) in 4 800 ml DI-Wasser bei Raumtemperatur gelöst.
- Die Ätzlösung wird unter Rühren langsam auf 60 °C erwärmt.
- Sämtliche Arbeiten sind mit Schutzbrille und Schutzhandschuhen unter dem Abzug auszuführen.

12.3.3 Gebrauch der Ätzlösung

- Die Durchführung des Ätzprozesses erfolgt generell unter dem Abzug und erfordert entsprechende Schutzmaßnahmen (Arbeiten mit Schutzbrille und Schutzhandschuhen).
- Die vorbereiteten Scheiben werden im Carrier in die auf 60 °C temperierte Ätzlösung für die Dauer von 10 min ohne Rühren eingetaucht.
- Anschließend wird der Carrier in das im Abzug bereitgestellte Becherglas mit ca. 6 l auf 80 °C erwärmtem DI-Wasser getaucht, wobei zu beachten ist, dass der Carrier mit den Scheiben vollständig mit Wasser bedeckt sein muss.
- Der Carrier wird mehrmals leicht nach oben und unten bewegt, bis nur noch vereinzelt Bläschen an den Scheiben sichtbar sind (dieser Schritt muss zügig erfolgen, um ein Antrocknen der Scheibe im Carrier zu verhindern).
- Anschließend wird der Carrier mit den Siliciumscheiben für mindestens 3 min unter kaltem Leitungswasser abgebraust, wobei die Brause so eingestellt werden muss, dass alle im Carrier befindlichen Siliciumscheiben gleichmäßig mit Wasser abgespült werden.
- Im Anschluss werden die Siliciumscheiben einzeln mit einer kunststoffbeschichteten Pinzette aus dem Carrier herausgenommen und nacheinander mit DI-Wasser (Spritflasche) und mit Ethanol (Spritflasche) gespült. Die Trocknung der Siliciumscheiben erfolgt von der Ecke der Scheibe aus mittels eines Heißluftgebläses.

12.4 Auswertung

Zur Bestimmung der mittleren Ätzrate r_E werden die Siliciumscheiben vor und nach dem Ätzen gewogen und die Massedifferenz Δm nach folgender Formel bestimmt:

$$r_E [\text{nm/min}] = \frac{\Delta m [\text{g}]}{\rho_{\text{Si}} [\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}] \cdot A [\text{cm}^2] \cdot t_R [\text{min}]} \cdot 10\,000\,000 \quad (7)$$

Dabei ist

Δm [g] die Massedifferenz der Siliciumscheibe vor und nach dem Ätzprozess,

ρ_{Si} die Dichte des Siliciums von $2,33 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$,

A [cm^2] die Gesamtfläche der Scheibe (setzt sich aus der vorder- und rückseitigen Fläche ohne Berücksichtigung der Kanten zusammen) und

t_R die Ätzdauer.

Der Faktor 10 000 000 ergibt sich aus der Umrechnung von cm in nm.

12.5 Prüfbericht

Der Prüfbericht muss die mit EN ISO/IEC 17025 geforderten Angaben enthalten.

Er sollte auch folgende Angaben einschließen:

- die mittlere Ätzrate r_E [nm/min].

13 Verfahren zur Bestimmung Ladungsträgerlebensdauer gemessen an „as cut“-Scheiben

13.1 Anwendungsbereich

Dieses Messverfahren beschreibt, wie die effektive Lebensdauer von optisch erzeugten Überschussladungsträgern als effektive Minoritätsladungsträgerlebensdauer von kristallinen Siliciumscheiben zu bestimmen ist.

ANMERKUNG Diese Methode ist bevorzugt auf multikristalline Siliciumscheiben anzuwenden. Bei monokristallinen Materialien erfolgt die Messung bevorzugt an einer Stirnseite des Blocks.

13.2 Bestimmung der Ladungsträgerlebensdauer

13.2.1 Allgemeine Anforderungen

Zur Bestimmung der Ladungsträgerlebensdauer muss zwischen zwei unterschiedlichen Methoden unterschieden werden: eingeschwungener Zustand ((quasi) steady state) und dynamisch (gepulst oder modulierte photoexcitation).

Für dynamische Messungen wird das Microwave-Photoconductance-Decay-Methode(μ -PCD) angewandt.

Für Messungen im eingeschwungenen Zustand wird das induktiv gekoppelte (QSSPC-)Verfahren angewandt.

13.2.2 Microwave-Photoconductance-Decay-Methode(μ -PCD)

Die μ -PCD-Methode zur Messung der Ladungsträgerlebensdauer ist eine kontaktlose Methode, die auf der Messung der Reflexion von Mikrowellenstrahlung an der Probe basiert, die zeitgleich mit einem Laser

bestrahlt wird. Der Abfall der Leitfähigkeit nach der Lichtanregung steht hierbei in direktem Verhältnis zur Lebensdauer der erzeugten Überschussladungsträger.

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 Detektionsfrequenz 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 sind 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.

μ-PCD-Messparameter

Die wesentlichen Parameter der Messung sind:

Laserintensität:	10^{12} Photonen/(Puls \times mm ²)
Anregungswellenlänge:	904 nm \pm 50 nm
Pulsdauer:	< 200 ns
Abfallzeitkonstante des Pulses:	< 100 ns
Messfleckgröße:	2 mm ²

Die Messung sollte vorzugsweise ohne Biaslicht erfolgen. Wenn Biaslicht verwendet wird, muss die Lichtstärke zwischen den betroffenen Stellen vereinbart werden.

13.2.3 Quasi Steady State Photo-Conductance(QSSPC)-Methode

Bei der QSSPC-Methode erleuchtet eine Blitzlampe oder eine LED-Anordnung die Siliciumscheibe und erzeugt eine Ausgangs-Photoleitfähigkeit. Die Ausgangs-Photoleitfähigkeit wird mittels induktiver Kopplung mit einem kalibrierten Resonanz-Schaltkreis gemessen. Die mittlere Ausgangsladungsträgerkonzentration wird über die Photoleitfähigkeit unter Verwendung eines geeigneten Modells für die Beweglichkeit der Ladungsträger ermittelt. Zur gleichen Zeit wie die Ausgangsphotoleitfähigkeit wird die mittlere Erzeugungsrate mittels eines kalibrierten Referenzdetektors aufgezeichnet. Die effektive Lebensdauer wird dann als Verhältnis der Ausgangsladungsträgerdichte zur mittleren Erzeugung ermittelt.

Die effektive Lebensdauer hängt stark von der Lichtintensität ab. Deshalb muss die effektive Lebensdauer bei einer Intensität von 0,5 Sonnen aufgezeichnet werden. Wenn die Lebensdauer bei einer Intensität von 0,5 Sonnen durch Trapping beeinflusst wird, sollte die Lebensdauer bei einem Injektionsgrad von $1,0 \cdot 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ aufgezeichnet werden. Die Erzeugung und infolgedessen die effektive Lebensdauer hängen stark von den optischen Eigenschaften ab, dies sind die Absorption der Oberflächenbeschichtung, die Front- und Rückseitenreflektion und die Scheibendicke. Diese ausschlaggebende Absorption wird durch einen optischen Faktor berücksichtigt, der für jede Messung anzugeben ist. Um den Einfluss der Oberflächenrekombination auf die Lebensdauer zu minimieren, sollte ein Infrarot-Long-Pass-Filter mit einem Übertragungsspektrum ähnlich eines Schott-Glas-Filters RG 850 verwendet werden. Die Messung sollte bei einer Temperatur von $25 \text{ °C} \pm 10 \text{ °C}$ durchgeführt werden.

13.3 Allgemeine Messbedingungen

Messtemperatur: $25 \text{ °C} \pm 10 \text{ °C}$

Probenpräparation:

- Die Ladungsträgerlebensdauer wird an der ungeätzten und unpassivierten Scheibenoberfläche als effektive Ladungsträgerlebensdauer ermittelt.
- Der Messbereich ist die gesamte Siliciumscheibe, bis auf einen allseitigen 10 mm breiten Randstreifen, aber mindestens 5 Messpunkte.

- Für einen Messbereich von 80 mm Ø ist eine Messung ausreichend.

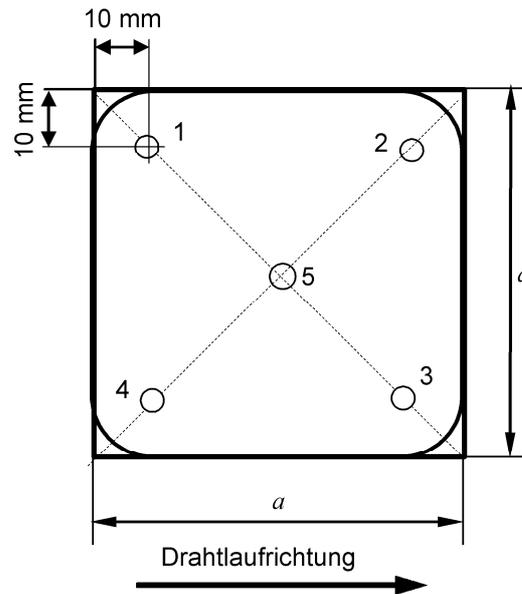


Bild 9 – Messplan für die Ladungsträgerlebensdauer-Messung

13.4 Auswertung

Aus allen Messpunkten der Ladungsträgerlebensdauer wird eine mittlere Ladungsträgerlebensdauer (Einheit: μs) der Siliciumscheibe nach folgender Gleichung ermittelt:

$$\tau_{\text{ges}} = \left(\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \tau_i^{(-1/2)} \right)^{-2} \quad (8)$$

Dabei ist

N die Anzahl der Messpunkte;

τ_i die Lebensdauer am einzelnen Messpunkt;

τ_{ges} die durchschnittliche Lebensdauer der Ladungsträger der Siliciumscheibe.

Mit der mittleren Ladungsträgerlebensdauer ist die mittlere Scheibendicke der vermessenen Siliciumscheibe anzugeben.

13.5 Prüfbericht

Der Prüfbericht muss die mit EN ISO/IEC 17025 geforderten Angaben enthalten.

Er sollte auch folgende Angaben einschließen:

- Dicke der Siliciumscheibe;
- Anzahl der Messpunkte;
- Art der Messmethode;
- optischen Faktor (A/cm^2 je Sonne) für die Umwandlung der Lichtintensität (QSSPC);
- Angabe über die Verwendung von Biaslicht und/oder der Injektionsgrad.

14 Verfahren zur Bestimmung der Masse-Minoritäts-Ladungsträgerlebensdauer an passivierten Scheiben (Labormessmethode)

14.1 Anwendungsbereich

Diese Messung beschreibt das Verfahren zur Ermittlung der Minoritäts-Ladungsträgerlebensdauer von kristallinen Siliciumscheiben im passivierten Zustand. Die Methode wird für Labormessungen empfohlen.

Die Passivierung der Scheibe dient dazu, die Minoritäts-Ladungsträgerlebensdauer näher am dem Massewert zu erhalten.

14.2 Bestimmung der Ladungsträgerlebensdauer

14.2.1 Allgemeine Anforderungen

Zur Bestimmung der Ladungsträgerlebensdauer muss zwischen zwei unterschiedlichen Methoden unterschieden werden:

1. Für dynamische Messungen wird die microwave-photo-conductance-decay(μ -PCD)-Methode angewendet.
2. Für Messungen im (quasi) eingeschwungenem Zustand wird die induktiv gekoppelte (quasi) steady state und dynamisch (gepulste oder modulierte photoexcitation) QSSPC-Methode angewandt.

14.2.2 Microwave-Photoconductance-Decay(μ -PCD)-Methode

Die μ -PCD-Methode zur Messung der Minoritäts-Ladungsträgerlebensdauer ist eine kontaktlose Methode, die auf der Messung der Reflexion von Mikrowellenstrahlung an der Probe basiert, die zeitgleich mit einem Laser bestrahlt wird. Der Abfall der Leitfähigkeit nach der Lichnanregung steht hierbei in direktem Verhältnis zur Lebensdauer der erzeugten Überschussladungsträger.

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 Detektionsfrequenz 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 sind 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.

Messparameter

Die wesentlichen Parameter der Messung sind:

Anregungswellenlänge:	904 nm \pm 50 nm,
Messfleckgröße:	2 mm ² ,
Pulsdauer:	< 100 ns,
Biaslicht:	Einspeisung 1/4 Sonne, maximal 1/10 der Einspeisung durch Pulse (Kleinsignalmessung),
Bias-Messfleckgröße:	mindestens 2-fache Messfleckgröße (Durchmesser des Laserlichts).

14.2.3 Quasi Steady State Photo Conduction(QSSPC)-Methode

Bei QSSPC erleuchtet eine Blitzlampe oder eine LED-Anordnung die Siliciumscheibe und erzeugt eine Ausgangsphotoleitfähigkeit. Die Ausgangsphotoleitfähigkeit wird mittels induktiver Kopplung mit einem kalibrierten RF-Schaltkreis gemessen. Die mittlere Ausgangsladungsträgerkonzentration wird über die Photo-

leitfähigkeit unter Verwendung eines geeigneten Modells für die Beweglichkeit der Ladungsträger ermittelt. Zur gleichen Zeit wie die Ausgangsphotoleitfähigkeit wird die mittlere Erzeugungsrates mittels eines kalibrierten Referenzdetektors aufgezeichnet. Die effektive Lebensdauer wird dann als Verhältnis der Ausgangsladungsträgerdichte zur mittleren Erzeugung ermittelt.

Die effektive Lebensdauer hängt stark von der Lichtintensität ab. Deshalb muss die effektive Lebensdauer bei einer Intensität von 0,5 Sonnen aufgezeichnet werden. Die Erzeugung und infolgedessen die effektive Lebensdauer hängen stark von den optischen Eigenschaften ab, diese sind die Absorption der Oberflächenbeschichtung, die Front- und Rückseitenreflektion und die Scheibendicke. Diese ausschlaggebende Absorption wird durch einen optischen Faktor berücksichtigt, der für jede Messung anzugeben ist. Die Messung sollte bei einer Temperatur von $25\text{ °C} \pm 10\text{ °C}$ durchgeführt werden.

Der Injektionsgrad muss $1,0 \cdot 10^{15}\text{ cm}^3$ betragen.

14.2.4 Probenpräparation

Die Minoritäts-Ladungsträgerlebensdauer wird an der passivierten Siliciumscheibe gemessen. Die Passivierungsmethode ist genau zu beschreiben.

Zur Charakterisierung muss die Qualität der Oberflächenpassivierung der gemessenen Lebensdauer einer 1-Ohm-cm-Float-Zonen-Scheibe im Prüfbericht zusammen mit der Scheibendicke angegeben werden.

Der Messbereich ist die gesamte Siliciumscheibe, bis auf einen allseitigen 10 mm breiten Randstreifen, aber mindestens 5 Messpunkte (siehe Bild 9).

Für einen Messbereich von 80 mm \varnothing ist eine Messung ausreichend.

14.3 Auswertung

Aus allen Messpunkten der Ladungsträgerlebensdauer wird eine mittlere Ladungsträgerlebensdauer (Einheit: μs) der Siliciumscheibe nach folgender Gleichung ermittelt:

$$\tau_{\text{ges}} = \left(\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \tau_i^{(-1/2)} \right)^{-2} \quad (9)$$

Dabei ist

N die Anzahl der Messpunkte;

τ_i die Lebensdauer am einzelnen Messpunkt;

τ_{ges} die durchschnittliche Lebensdauer der Ladungsträger der Siliciumscheibe.

Mit der mittleren Ladungsträgerlebensdauer ist die mittlere Scheibendicke der vermessenen Siliciumscheibe anzugeben.

14.4 Prüfbericht

Der Prüfbericht muss die mit EN ISO/IEC 17025 geforderten Angaben enthalten.

Er sollte auch folgende Angaben einschließen:

- Dicke der Siliciumscheibe;
- Passivierungsmethode;
- Anzahl der Messpunkte;
- Art der Messmethode;
- optischen Faktor (A/cm^2 je Sonne) für die Umwandlung der Lichtintensität (QSSPC);
- Angabe des Injektionsgrads.

15 Elektrischer Widerstand von multi- und monokristallinen Halbleiterscheiben

15.1 Anwendungsbereich

Das Verfahren beschreibt die Messung des elektrischen Widerstands von multi- und monokristallinen Siliciumscheiben im Zustand „as cut“ (ohne gestaltverändernde chemische, physikalische oder mechanische Bearbeitung der Oberfläche nach dem Herstellungsprozess), wobei sowohl berührungsfreie als auch berührend arbeitende Widerstandsmessgeräte verwendet werden.

15.2 Normative Verweisungen

Dieses Verfahren bezieht sich auf DIN 50431 und auf EN ISO/IEC 17025, ASTM F 673, ASTM F 43 und ASTM F 84 (siehe auch [Abschnitt 2](#)).

Diese normativen Verweisungen sind an den jeweiligen Stellen im Text zitiert.

15.3 Begriffe

Der Widerstand ist nach DIN 50431 definiert. Die Temperaturabhängigkeit des elektrischen Widerstands ist in graphischer Form abgebildet in ASTM F 43 und in tabellarischer Form in ASTM F 84.

15.4 Einheiten

Die in 15.3 gemessenen Werte sind in Ωcm anzugeben.

15.5 Messeinrichtungen

15.5.1 Messgeräte

Als Messgeräte werden verwendet:

- Berührende: alle Vier-Spitzenmessgeräte wie in DIN 50431 angegeben.
- Berührungsfreie: alle Wirbelstrommessgeräte mit einem Messsondenpaar, zwischen dem der Siliciumscheiben gemessen wird, wie in ASTM F 673 angegeben, sowie alle Wirbelstrommessgeräte mit einer einzelnen Messsonde, die gegenüber der zu messenden Probe positioniert wird.

15.5.2 Kalibriernormale

Für die Kalibrierung der Messgeräte müssen die in den jeweiligen Bedienungsanleitungen der Messgeräte vorgesehenen Kalibriernormale bereitgehalten werden.

15.5.3 Thermometer

Die Temperatur der Probe muss mit einem Thermometer der Ablesegenauigkeit $\pm 1\text{ °C}$ gemessen werden.

15.6 Kalibrierung

Bei der Verwendung von kommerziellen Messgeräten werden die in der jeweiligen Bedienungsanleitung vorgeschlagenen Kalibriermaßnahmen befolgt.

15.7 Probengrößen

Die in den jeweiligen Bedienungsanleitungen geforderten Mindestprobengrößen müssen eingehalten werden.

15.8 Messung von Siliciumscheiben

Die Mindestabstände der Messsonde zu den Probenrandecken müssen eingehalten werden. Die Temperatur der Messung muss zwischen 18 °C und 28 °C liegen.

15.8.1 Messung mit Vier-Spitzenmessgerät

Die Messung von mono- und multikristallinen Proben erfolgt nach 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.

15.8.2 Messung mit Wirbelstrommessgerät mit einem Messsondenpaar

Die Messung von mono- und multikristallinen Proben erfolgt in Anlehnung an ASTM F 673.

15.8.3 Messung mit Wirbelstrommessgerät mit einer einzelnen Messsonde

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

15.9 Prüfbericht

Der Prüfbericht muss die mit EN ISO/IEC 17025 geforderten Angaben enthalten.

Er sollte auch folgende Angaben einschließen:

- Art und Bezeichnung der verwendeten Messgeräte, insbesondere bei Verwendung von Vier-Spitzenmessgeräten Radius und Abstand der Messspitzen und bei Verwendung der Wirbelstrommethode Frequenzbereich des Messsenders;
- Probentemperatur während der Prüfung;
- Ort, Anzahl und Werte der Messpunkte.

16 Verfahren zur Messung des Gehaltes von an als Substitutionsatome eingelagertem Kohlenstoff und an interstitiell gelöstem Sauerstoff in Silicium für Solarmaterial

16.1 Anwendungsbereich

Dieses Verfahren legt fest, wie der Gehalt an interstitiell gelöstem Sauerstoff (O_i) und an als Substitutionsatome eingelagertem Kohlenstoff (C_s) in monokristallinem und multikristallinem Silicium für Solarscheiben zu bestimmen ist.

16.2 Normative Verweisungen

Dieses Verfahren bezieht sich auf Teile der DIN 50438-1, DIN 50438-2 und auch auf EN ISO/IEC 17025, ASTM F 1188-02 und ASTM F 1391-93 (siehe auch [Abschnitt 2](#)).

Diese normativen Verweisungen sind an den jeweiligen Stellen im Text zitiert.

16.3 Begriffe

16.3.1

interstitiell gelöster Sauerstoff

O_i

in das Siliciumgitter eingebauter Sauerstoff, wobei sich die Sauerstoffatome auf Zwischengitterplätzen befinden

16.3.2

Kohlenstoff als Substitutionsatom

C_s

in das Siliciumgitter eingebauter Kohlenstoff, wobei sich die Kohlenstoffatome auf Gitterplätzen anstelle von Si-Atomen befinden

16.4 Einheiten

Die Konzentration von C_s und O_i wird in $\text{Atome} \cdot \text{cm}^{-3}$ angegeben. Die Probendicke wird in mm angegeben.

16.5 Vereinbarungen

Die Grenzwerte für die maximal zulässigen Konzentrationen an C_s und O_i werden zwischen den jeweiligen Scheiben- und Zellherstellern festgelegt.

16.6 Messung

16.6.1 Messmethode (Messgeräte)

Der Gehalt an C_s und O_i wird nach den Normen DIN 50438, ASTM F 1188-02 und ASTM F 1391-93 mittels Fourier-Transformation-Infrarot(FTIR)-Spektrometrie bestimmt. Die Genauigkeit der Messungen ist in den vorgenannten Normen ebenfalls geregelt.

16.6.2 Probenpräparation

Die Dicke der Proben beträgt $2 \text{ mm} \pm 0,4 \text{ mm}$. Die Proben werden mechanisch oder chemisch poliert. Bei mechanischer Politur wird stufenweise bis zu einer Suspension von DSP $1 \mu\text{m}$ jeweils so lange poliert, bis die Kratzer vom vorangegangenen Polierschritt verschwunden sind.

Bei der chemischen Politur wird eine saure Glanzätze zur Entfernung des Sägedamages eingesetzt.

16.6.3 Referenzproben

Die Referenzproben werden aus Floatzone-Silicium hergestellt. Zur Vermeidung von Messfehlern durch Oberflächeneffekte werden die Referenzproben mechanisch und chemisch poliert. Die Dicke der Referenzprobe darf maximal $0,2 \text{ mm}$ von der Dicke der zu messenden Proben abweichen. Ein Satz Referenzproben im entsprechenden Dickenbereich mit einer Dickenabstufung von $0,2 \text{ mm}$ ist daher bereitzuhalten.

16.6.4 Durchführung

Das Fourier-Transformation-Infrarot(FTIR)-Spektrometer misst die wellenzahlabhängige Absorption von Infrarot(IR)-Strahlung beim Durchgang durch die Probescheibe. Die zu messenden Proben und die Referenzproben werden mit einer Neigung von 30° zum einfallenden Strahl eingebaut, um Verfälschungen durch Reflexion zu vermeiden. Die effektive Dicke (d_{eff}) der gemessenen Proben ergibt sich somit zu $d_{\text{eff}} = d / \cos 30^\circ$.

16.6.5 Auswertung

Zunächst wird das Differenzspektrum α aus dem gemessenen Mittelwertspektrum AB_{Probe} und dem Referenzspektrum AB_{Ref} nach folgender Gleichung gebildet:

$$\left(\left(\frac{AB_{\text{Probe}}}{d_{\text{eff}} [\text{mm}]} \right) - \left(\frac{AB_{\text{Ref}}}{d_{\text{eff}} [\text{mm}]} \right) \right) \cdot 23,03 = \alpha \quad (10)$$

Die Auswertung der Differenzspektren erfolgt bei den Wellenzahlen $1\,107\text{ cm}^{-1}$ für O_i und 605 cm^{-1} für C_s . Die Höhe der Peaks ergibt die Absorptionswerte, die durch Multiplikation mit den Absorptionskoeffizienten (für O_i : $3,14 \cdot 10^{17}\text{ Atome} \cdot \text{cm}^{-2}$, für C_s : $1 \cdot 10^{17}\text{ Atome} \cdot \text{cm}^{-2}$) die Gehalte an C_s und O_i liefern.

16.6.6 Messplan

Jeder Messpunkt wird über 30 Einzelmessungen gemittelt. Jede Probe wird an mindestens vier verschiedenen Stellen gemessen. Der Mittelwert aus allen 4 Positionen wird zur Errechnung des O_i - und C_s -Gehalts wie in 16.6.5 beschrieben verwendet.

16.7 Prüfbericht

Der Prüfbericht muss die mit EN ISO/IEC 17025 geforderten Angaben enthalten.

Er sollte auch folgende Angaben einschließen:

- Art und Bezeichnung der verwendeten Messgeräte,
- Probentemperatur während der Prüfung,
- Ort, Anzahl und Werte der Messpunkte.

Anhang A
(informativ)

Geometrische Dimensionen, Oberflächen und Kanteneigenschaften

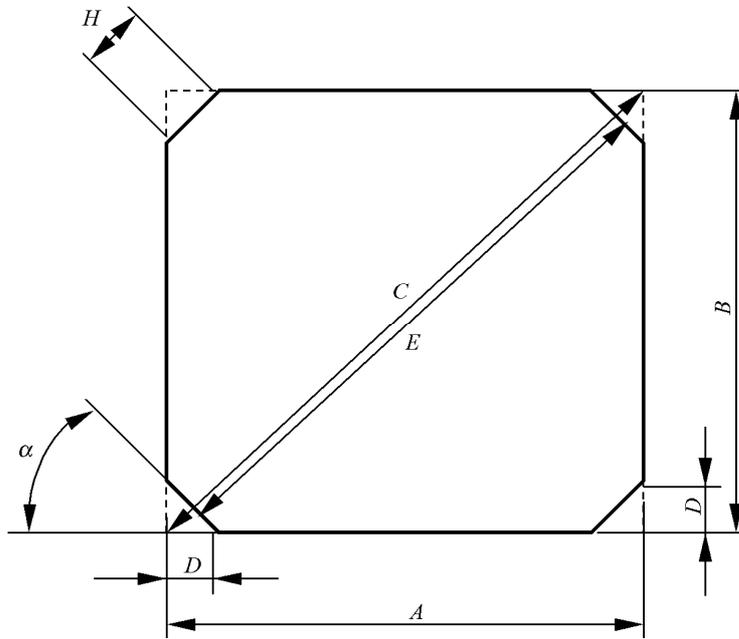


Bild A.1 – Rechteckige Scheibe mit gerader Fase

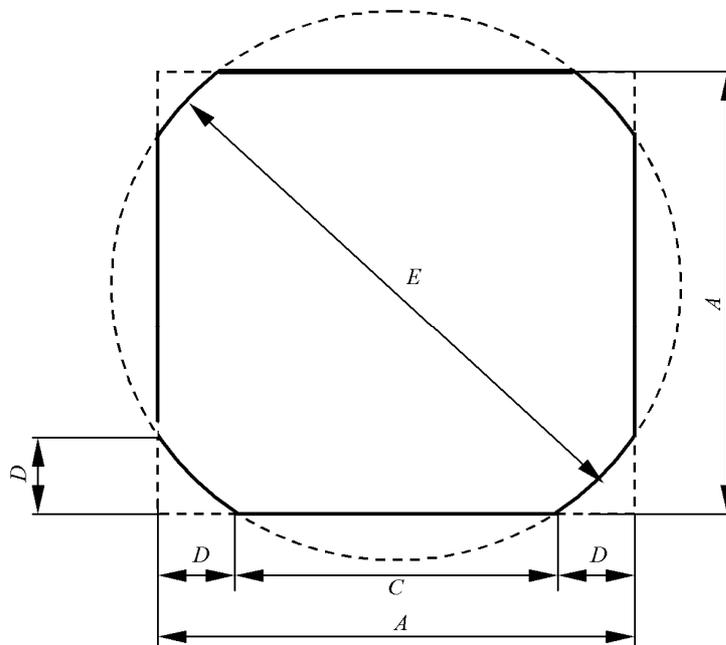
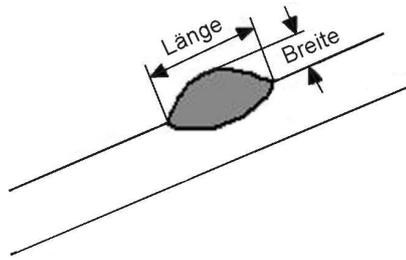
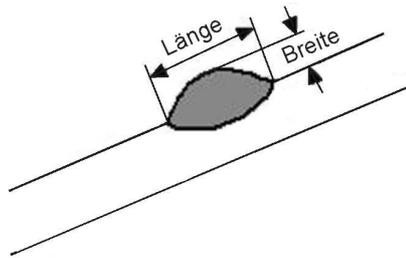


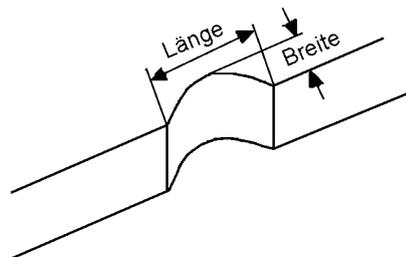
Bild A.2 – Quadratische Scheibe mit runder Fase



a) Muschelausbruch



b) V-Ausbruch



c) Sonstiger Kantenausbruch

Bild A.3 – Fehlerbilder zu Oberflächen- und Kanteneigenschaften

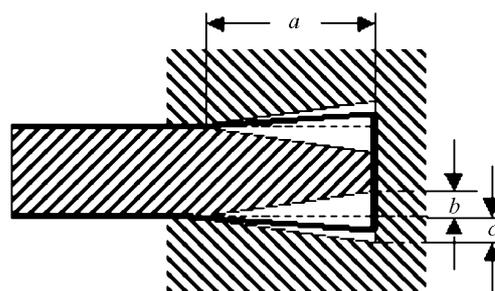
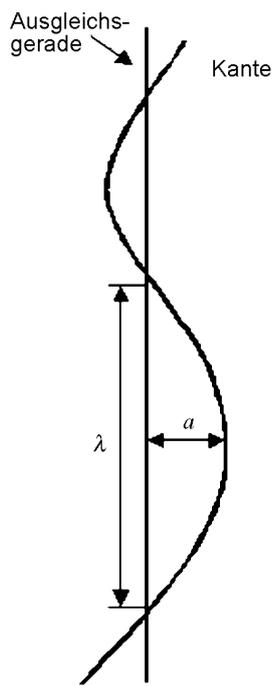


Bild A.4 – Kantenverdickung



Angabe der maximalen Tiefe (a)
und minimalen Wellenlänge (λ)



Angabe der maximalen Tiefe (a)

Bild A.5 – Abweichung von der geraden Kante

Anhang B
(informativ)

Optionale Anforderungen

B.1 Trennverfahren Blöcke und Scheiben

Angabe des Trennverfahrens für Blöcke und Scheiben, z. B. Bandsägen für Blöcke und Drahtsägen für Scheiben.

B.2 Reinigungsverfahren

Angabe der Art des Reinigungsverfahrens (z. B. alkalisch, tensidisch, Ultraschall).

B.3 Mechanische Eigenschaften

Es können Angaben gemacht werden.

Literaturhinweise

ASTM Standard F 1188-02, *Standard Test Method for Interstitial Atomic Oxygen Content of Silicon by Infrared Absorption with Short Baseline*, ASTM International, West Conshohocken, PA, www.astm.org (zurückgezogen 2003)

ASTM Standard F 1619, *Standard Test Method for Measurement of Interstitial Oxygen Content of Silicon Wafers by Infrared Absorption Spectroscopy with p-Polarized Radiation Incident at the Brewster Angle*, ASTM International, West Conshohocken, PA, www.astm.org (ersetzt)

ASTM Standard F 1391-93, *Standard Test Method for Substitutional Atomic Carbon Content of Silicon by Infrared Absorption*, ASTM International, West Conshohocken, PA, www.astm.org (zurückgezogen 2003)

ASTM Standard F 673, *Standard Test Methods for Measuring Resistivity of Semiconductor Slices or Sheet Resistance of Semiconductor Films with a Noncontact Eddy-Current Gage*, ASTM International, West Conshohocken, PA, www.astm.org (zurückgezogen 2003)

ASTM Standard F 43, *Standard Test Methods for Resistivity of Semiconductor Materials*, ASTM International, West Conshohocken, PA, www.astm.org (zurückgezogen 2003)

ASTM Standard F 84, *Standard Test Method for Measuring Resistivity of Silicon Wafers With an In-Line Four-Point Probe*, ASTM International, West Conshohocken, PA, www.astm.org (zurückgezogen 2003)

SEMI MF1725-1103, *Practice for Analysis of Crystallographic Perfection of Silicon Ingots*, www.semi.org

SEMI MF1809-0704, *Guide for Selection and Use of Etching Solutions to Delineate Structural Defects in Silicon*, www.semi.org

SEMI MF1810-0304, *Test Method for Counting Preferentially Etched or Decorated Surface Defects in Silicon Wafers*, www.semi.org