



Werkskalibrierschein

Proprietary calibration report

1002134ISE0618

Gegenstand
Object

WPVS reference cell

Hersteller
Manufacturer

Fraunhofer ISE

Typ
Type

monocrystalline silicon

Fabrikat/Serien-Nr.
Serial number

ISE002 / 044-2017

Auftraggeber
Customer

**Department of Physics
University of Oxford
Clarendon Lab, Stores (rear)
Parks Road, Oxford, OX1 3PU**

Auftragsnummer
Order No.

134ISE0618

Anzahl der Seiten
Number of pages

7

Datum der Kalibrierung
Date of calibration

02.07.2018

Kalibrierscheine ohne Unterschrift haben keine Gültigkeit. *Calibration certificates without signature are not valid.*

Datum
Date

Leiter des Kalibrierlaboratoriums
Head of the calibration laboratory

Bearbeiter
Person in charge

03.07.2018

Jochen Hohl-Ebinger

Astrid Semeraro

1. Beschreibung des Kalibriergegenstandes

Description of the calibrated object

Das Kalibrierobjekt besteht aus einer Solarzelle Typ: monokristallines Silicium, die mit einem KG3-Filter in einem Gehäuse eingegossen ist. Die Vorderseiten- sowie die Rückseitenkontakte der Zelle sind wie die Temperaturerfassung über einen Steckkontakt zugänglich. Die Temperaturerfassung erfolgt mittels eines internen Pt 100 -Sensors. Die Stabilität der Solarzelle wurde nicht untersucht. Einbauhöhe der Solarzelle: 12.8 mm.

The device under test is a solar cell package containing a monocrystalline silicon solar cell, which is covered with a KG3-filter. The front contact, the rear contact and the temperature sensor are accessible by a plug contact. The temperature acquisition is realized with an internal Pt 100 sensor. The temporal stability of the device was not controlled. Housing height from base to active cell surface: 12.8 mm.

2. Messverfahren

Measurement procedure

Die Kalibrierung des Kalibrierobjektes wird gemäß /1/ mit einem DC-Sonnensimulator Klasse A nach /6/ unter Standardtestbedingungen (STC) durchgeführt. Die Einstrahlung wird mit Hilfe einer Monitorzelle während der gesamten Messdauer aufgenommen und deren Schwankungen bezüglich der Messung korrigiert. Die Divergenz der Randstrahlen ist $< 8^\circ$. Die Solarzelle wird auf einem Vakuumprobentisch thermisch stabilisiert.

The calibration of the test sample was performed at Standard Testing Conditions (STC) in accordance with /1/ under irradiation with a steady-state class A solar simulator according to /6/. The irradiance is controlled with a monitor cell during the measurement in order to correct fluctuations. The divergence of the peripheral beams is $< 8^\circ$. The solar cell is kept at a constant temperature on a vacuum chuck.

Rückführung der Referenzsolarzelle/Traceability of the reference solar cell :

Identitäts-Nr. / <i>Identity-Nr. :</i>	Kalibrierschein-Nr./ <i>Certificate-Nr. :</i>	Rückführung/ <i>Traceability :</i>
AS1F/040-2002	47115-PTB-18	PTB

Das Messergebnis für den Kurzschlussstrom enthält eine Korrektur der spektralen Fehlanpassung (Mismatch), die durch die Abweichung der spektralen Verteilung des Klasse A Simulators vom Standard-Spektrum AM1.5G /3/ in Kombination mit den verschiedenen spektralen Empfindlichkeiten von Referenzzelle und Messobjekt entsteht /4/. Dazu wurde die spektrale Verteilung der Bestrahlung (Sonnensimulator) mit einem Spektralradiometer und die spektrale Empfindlichkeit des Messobjektes mit einem Filtermonochromator /5/ gemessen (s. Kalibrierschein Nr: 3002134ISE0618). Die Einstrahlung erfolgt auf der gesamten Fläche, die mit dem Filterglas bedeckt ist. Bei einer Teilbeleuchtung der aktiven Fläche kann es bei dem vorliegendem Messobjekt zu einer Veränderung der spektralen Empfindlichkeit kommen.

The spectral mismatch - caused by the deviation of the simulator spectrum from the standard spectrum AM1.5G /3/ in combination with the difference between the spectral response of the reference cell and that of the device under test (DUT) – is calculated according to /4/ and corrected.

For the spectral mismatch correction the spectral distribution of the solar simulator is measured with a spectroradiometer, the spectral response of the DUT is measured with a filter monochromator according to /5/ (cf. Calibration Mark: 3002134ISE0618). The irradiation was done on the full area covered by the filter glas. For this special device, a measurement with partial illumination of the active area may cause a different characteristic of the spectral response.

Die Rückführung der Spektralmessung auf SI-Einheiten erfolgte über den Vergleich mit einer Standardlampe.
The traceability of the measurement of the spectral distribution to SI-Units is achieved using a standard lamp for the calibration of the spectroradiometer.

Identitäts-Nr. / <i>Identity-Nr. :</i>	Kalibrierschein-Nr./ <i>Certificate-Nr. :</i>	Rückführung/ <i>Traceability :</i>
BN-9101-451	40002-14-PTB	PTB

3. Messbedingungen

Measurement conditions

Standardtestbedingungen (STC) / *Standard Testing Conditions (STC) :*

Absolute Bestrahlungsstärke /
Total irradiance : 1000 W/m²

Temperatur des Messobjektes /
Temperature of the DUT : 25 °C

Spektrale Bestrahlungsstärke /
Spectral irradiance distribution : AM1.5G Ed.2 (2008)

Die Messung der IV-Kennlinie (Strom-Spannungs-Kennlinie) des Messobjektes erfolgt mit Hilfe eines Vierquadranten-Netztes und eines Kalibrierwiderstandes.
The measurement of the IV-curve is performed with a 4-quadrant power amplifier and a calibration resistor.

4. Messergebnis

Measurement results

Mismatch-Faktor /
Mismatch factor : = 0.9989
(Spektral-Korrektur / *spectral correction*)

Kennlinienparameter des Messobjektes unter Standardtestbedingungen (STC) / *IV-curve parameter under Standard Testing Conditions (STC) :*

V_{OC} = (616.1 ± 2.1) mV

I_{SC} (Ed.2 - 2008)/3/ = (52.11 ± 0.99) mA

I_{MPP} = 49.60 mA

V_{MPP} = 534.2 mV

P_{MPP} = (26.50 ± 0.53) mW

FF = (82.55 ± 0.54) %

Angegeben ist jeweils die erweiterte Messunsicherheit, die sich aus der Standardmessunsicherheit durch Multiplikation mit dem Faktor $k=2$ ergibt. Sie wurde gemäß dem "Guide to the expression of Uncertainty in Measurement" ermittelt. Sie entspricht bei einer Normalverteilung der Abweichungen vom Messwert einer Überdeckungswahrscheinlichkeit von 95%.

The expanded measurement uncertainty resulting from the standard measurement uncertainty multiplied with a factor $k=2$ is specified. The calculation was carried out according to the "Guide to the expression of Uncertainty in Measurement". The value corresponds to a Gaussian distribution denoting the deviations of the measurement value within a probability of 95%.

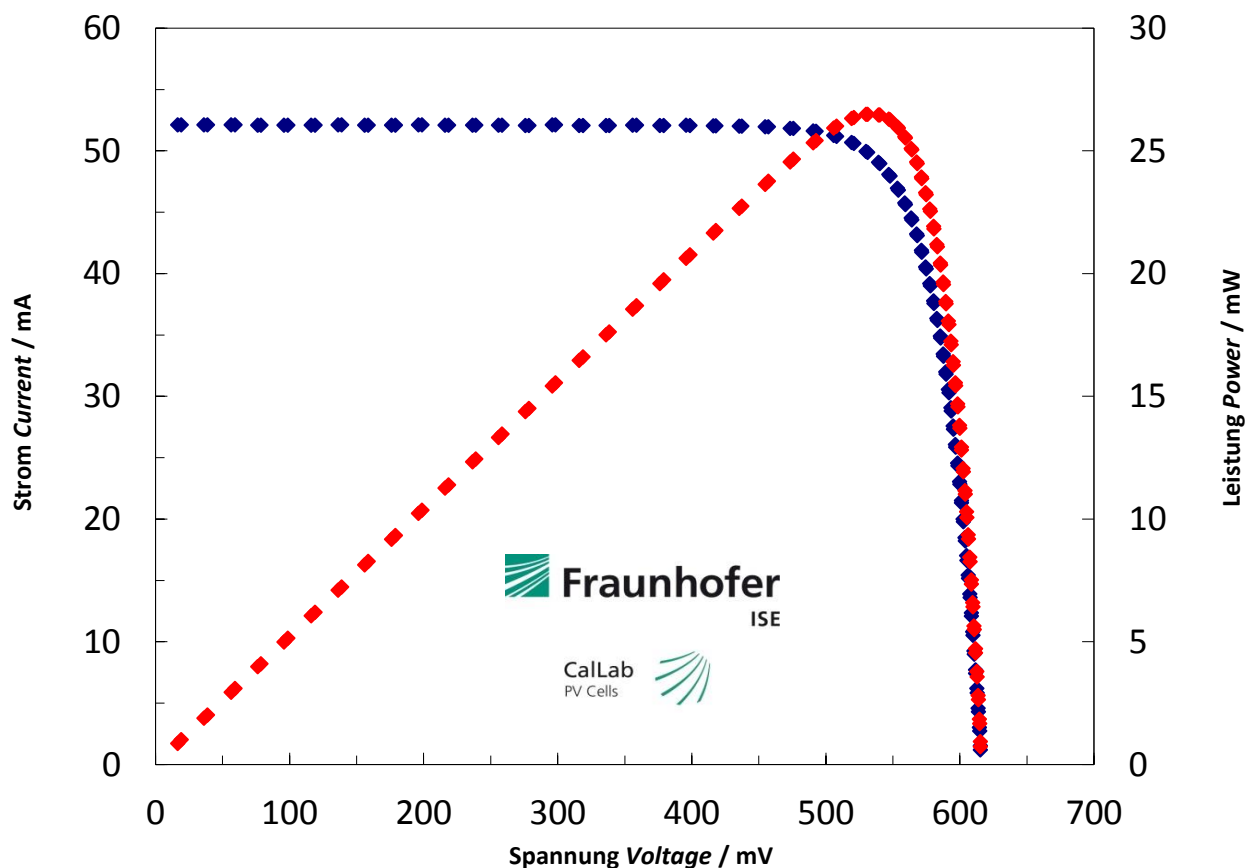
5. Zusatzinformationen

Additional information

Nur zum Vergleich / *For comparison purposes :*

Berechneter Wert nach bisherigem Normspektrum / *Calculated value according to previous standard spectrum :*

I_{SC} (Ed.1 - 1989) /2/ = (52.02 ± 0.99) mA



Spannung Voltage / mV	Strom Current / mA	Leistung Power / mW
-100.56	52.11	-5.24
-84.01	52.11	-4.38
-80.77	52.12	-4.21
-63.80	52.14	-3.33
-60.85	52.14	-3.17
-43.73	52.11	-2.28
-41.14	52.11	-2.14
-23.67	52.11	-1.23
-21.11	52.10	-1.10
-4.00	52.09	-0.21
-1.08	52.10	-0.06
16.49	52.10	0.86
19.28	52.10	1.00
36.13	52.11	1.88
38.71	52.11	2.02
56.38	52.11	2.94
59.39	52.10	3.09
76.39	52.09	3.98
78.79	52.09	4.10
95.78	52.07	4.99
98.78	52.07	5.14
116.19	52.08	6.05
118.98	52.08	6.20
136.36	52.10	7.10
138.80	52.10	7.23
156.13	52.09	8.13
158.70	52.09	8.27
176.20	52.07	9.18
179.07	52.07	9.32
196.31	52.10	10.23
198.76	52.10	10.35
216.10	52.09	11.26
218.64	52.09	11.39
236.52	52.09	12.32
238.94	52.09	12.45
255.81	52.07	13.32
258.57	52.07	13.46
275.93	52.06	14.37
278.60	52.06	14.51
295.99	52.09	15.42
298.41	52.09	15.55
316.10	52.06	16.46
318.84	52.06	16.60
336.18	52.05	17.50
338.49	52.05	17.62
356.03	52.09	18.55
358.85	52.09	18.69
376.20	52.06	19.59
379.13	52.06	19.74
395.95	52.07	20.62
398.80	52.07	20.76

Spannung Voltage / mV	Strom Current / mA	Leistung Power / mW
416.17	52.03	21.65
418.01	52.02	21.75
435.55	51.99	22.65
437.51	51.99	22.75
454.91	51.95	23.63
457.29	51.94	23.75
473.51	51.83	24.54
475.84	51.81	24.65
490.59	51.62	25.32
492.70	51.58	25.41
505.98	51.24	25.93
508.00	51.18	26.00
519.39	50.67	26.32
520.88	50.59	26.35
530.16	49.94	26.48
531.27	49.85	26.49
539.32	49.07	26.46
540.27	48.96	26.45
547.11	48.06	26.29
547.91	47.93	26.26
553.41	46.93	25.97
554.13	46.79	25.93
558.92	45.75	25.57
559.48	45.62	25.52
563.72	44.51	25.09
564.20	44.37	25.04
567.81	43.23	24.55
568.24	43.08	24.48
571.28	41.89	23.93
571.66	41.74	23.86
574.60	40.53	23.29
574.97	40.37	23.21
577.67	39.17	22.63
578.06	38.98	22.53
580.41	37.76	21.92
580.77	37.57	21.82
582.94	36.33	21.18
583.23	36.16	21.09
585.41	34.89	20.42
585.66	34.73	20.34
587.57	33.44	19.65
587.83	33.26	19.55
589.59	31.99	18.86
589.84	31.80	18.76
591.54	30.54	18.07
591.87	30.28	17.92
593.37	29.06	17.24
593.67	28.80	17.10
595.06	27.56	16.40
595.33	27.32	16.26
596.69	26.06	15.55

Spannung Voltage / mV	Strom Current / mA	Leistung Power / mW
596.93	25.84	15.43
598.34	24.53	14.68
598.53	24.34	14.57
599.80	23.02	13.81
599.99	22.82	13.69
601.18	21.51	12.93
601.36	21.30	12.81
602.51	19.99	12.05
602.70	19.77	11.92
603.81	18.48	11.16
604.02	18.22	11.01
605.02	17.02	10.29
605.36	16.62	10.06
606.29	15.43	9.36
606.50	15.15	9.19
607.44	13.89	8.44
607.66	13.59	8.26
608.53	12.35	7.52
608.72	12.08	7.35
609.61	10.81	6.59
609.81	10.52	6.41
610.67	9.23	5.64
610.83	8.98	5.49
611.67	7.70	4.71
611.85	7.42	4.54
612.65	6.19	3.79
612.90	5.82	3.57
613.70	4.58	2.81
613.87	4.30	2.64
614.61	3.01	1.85
614.75	2.71	1.67
615.25	1.51	0.93
615.41	1.18	0.73
616.11	-0.09	-0.05
616.27	-0.38	-0.23
616.97	-1.67	-1.03
617.10	-1.92	-1.19
617.79	-3.25	-2.01
617.92	-3.50	-2.16
618.58	-4.80	-2.97

6.Literatur

Literature

- /1/ IEC 60904-1-Ed.2:2006, *Photovoltaic devices - Part 1: Measurement of photovoltaic current-voltage characteristics*
- /2/ IEC 60904-3-Ed.1:1989, *Photovoltaic devices - Part 3: Measurement principles for terrestrial photovoltaic (PV) solar devices with reference spectral irradiance data*
- /3/ IEC 60904-3-Ed.2:2008, *Photovoltaic devices - Part 3: Measurement principles for terrestrial photovoltaic (PV) solar devices with reference spectral irradiance data*
- /4/ IEC 60904-7-Ed.3:2008, *Photovoltaic devices - Part 7: Computation of the spectral mismatch error introduced in the testing of a photovoltaic device*
- /5/ IEC 60904-8-Ed.3:2014, *Photovoltaic devices - Part 8: Measurement of the spectral responsivity of a photovoltaic (PV) device*
- /6/ IEC 60904-9-Ed.2:2010, *Photovoltaic devices - Part 9: Solar simulator performance requirements*
- /7/ M.A. Green, K. Emery, Y. Hishikawa, W. Warta, and E. D. Dunlop, *Solar cell efficiency tables (version 39)*. Progress in Photovoltaics: Research and Applications, 2012. 20: p. 12-20.

Hinweis: Es ist nicht gestattet, ohne die schriftliche Genehmigung des ISE CalLab PV Cells den Werkskalibrierschein auszugsweise zu vervielfältigen.

Note: *This proprietary calibration report may not be reproduced other than in full. Extracts may be taken only by the written permission of ISE CalLab PV Cells.*