



جمهوری اسلامی ایران  
Islamic Republic of Iran

مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران

Institute of Standards and Industrial Research of Iran



استاندارد ملی ایران

۸۴۸۸

چاپ اول

ISIRI

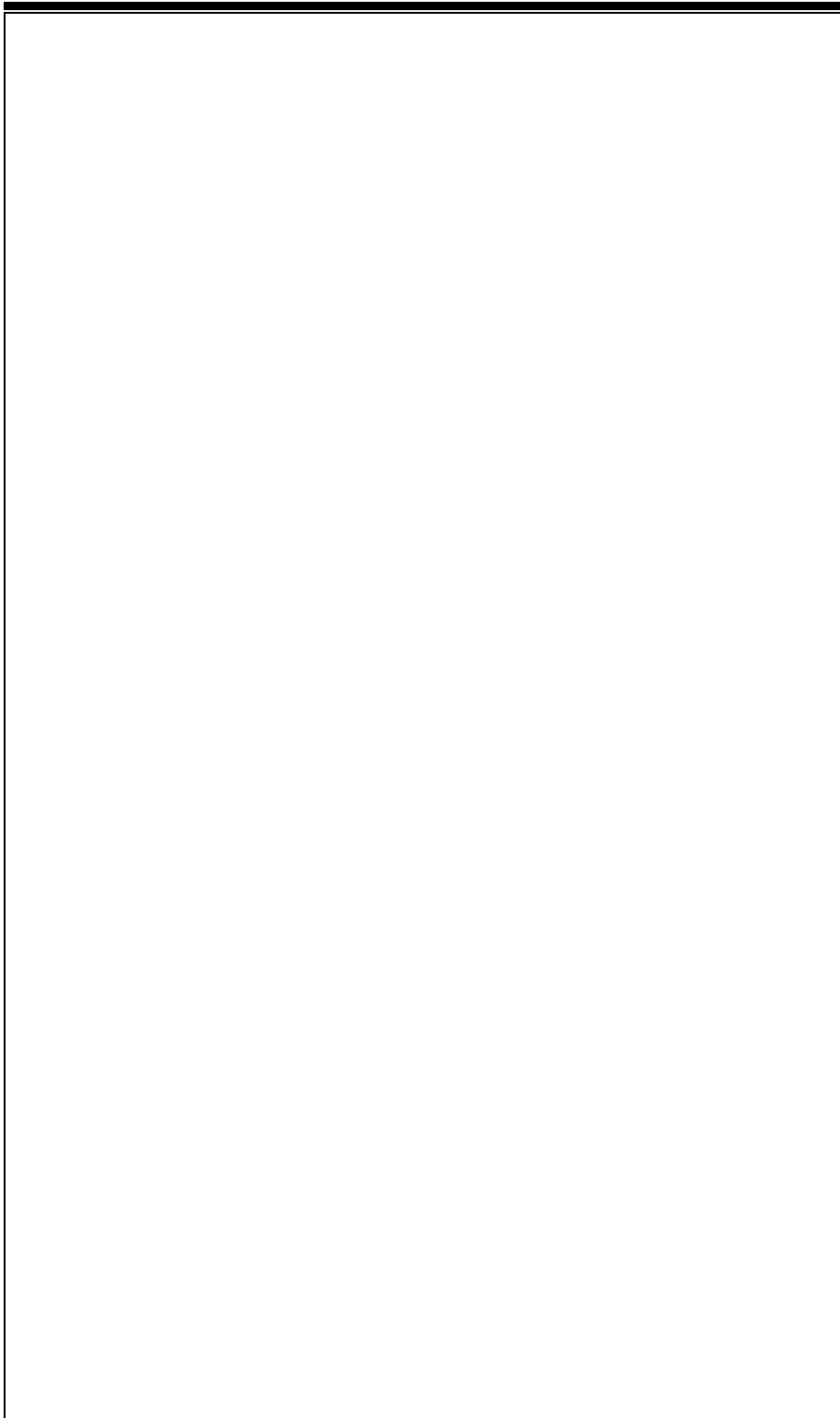
8488

1st.edition

**اندازه گیری پاسخ طیفی سلول های فتوولتائیک –**

**روش آزمون**

**Measuring spectral response of  
photovoltaic cells –  
Test method**



## « بسمه تعالی »

آشنایی با مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنایع ایران

مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران به موجب قانون، تنها مرجع رسمی کشور است که عهده دار وظیفه تعیین، تدوین و نشر استانداردهای ملی (رسمی) میباشد.

تدوین استاندارد در رشته های مختلف توسط کمیسیون های فنی مرکب از کارشناسان مؤسسه، صاحب نظران مراکز و مؤسسات علمی، پژوهشی، تولیدی و اقتصادی آگاه و مرتبط با موضوع صورت میگیرد. سعی بر این است که استانداردهای ملی، در جهت مطلوبیت ها و مصالح ملی و با توجه به شرایط تولیدی، فنی و فن آوری حاصل از مشارکت آگاهانه و منصفانه صاحبان حق و نفع شامل: تولیدکنندگان، مصرف کنندگان، بازرگانان، مراکز علمی و تخصصی و نهادها و سازمانهای دولتی باشد. پیش نویس استانداردهای ملی جهت نظرخواهی برای مراجع ذینفع و اعضای کمیسیون های فنی مربوط ارسال میشود و پس از دریافت نظرات و پیشنهادات در کمیته ملی مرتبط با آن رشته طرح و در صورت تصویب به عنوان استاندارد ملی (رسمی) چاپ و منتشر می شود.

پیش نویس استانداردهایی که توسط مؤسسات و سازمانهای علاقمند و ذیصلاح و با رعایت ضوابط تعیین شده تهیه می شود نیز پس از طرح و بررسی در کمیته ملی مربوط و در صورت تصویب، به عنوان استاندارد ملی چاپ و منتشر می گردد. بدین ترتیب استانداردهایی ملی تلقی می شود که بر اساس مفاد مندرج در استاندارد ملی شماره ((۵)) تدوین و در کمیته ملی مربوط که توسط مؤسسه تشکیل میگردد به تصویب رسیده باشد.

مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران از اعضای اصلی سازمان بین المللی استاندارد میباشد که در تدوین استانداردهای ملی ضمن توجه به شرایط کلی و نیازمندیهای خاص کشور، از آخرین پیشرفتهای علمی، فنی و صنعتی جهان و استانداردهای بین المللی استفاده می نماید.

مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران می تواند با رعایت موازین پیش بینی شده در قانون به منظور حمایت از مصرف کنندگان، حفظ سلامت و ایمنی فردی و عمومی، حصول اطمینان از کیفیت محصولات و ملاحظات زیست محیطی و اقتصادی، اجرای بعضی از استانداردها را با تصویب شورای عالی استاندارد اجباری نماید. مؤسسه می تواند به منظور حفظ بازارهای بین المللی برای محصولات کشور، اجرای استاندارد کالاهای صادراتی و درجه بندی آنرا اجباری نماید.

همچنین بمنظور اطمینان بخشیدن به استفاده کنندگان از خدمات سازمانها و مؤسسات فعال در زمینه مشاوره، آموزش، بازرسی، ممیزی و گواهی کنندگان سیستم های مدیریت کیفیت و مدیریت زیست محیطی، آزمایشگاهها و کالیبره کنندگان وسایل سنجش، مؤسسه استاندارد اینگونه سازمانها و مؤسسات را بر اساس ضوابط نظام تأیید صلاحیت ایران مورد ارزیابی قرار داده و در صورت احراز شرایط لازم، گواهینامه تأیید صلاحیت به آنها اعطا نموده و بر عملکرد آنها نظارت می نماید. ترویج سیستم بین المللی یکاها، کالیبراسیون وسایل سنجش تعیین عیار فلزات گرانبها و انجام تحقیقات کاربردی برای ارتقای سطح استانداردهای ملی از دیگر وظایف این مؤسسه می باشد.

نشانی مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران : کرج - شهر صنعتی، صندوق پستی ۳۱۵۸۵-۱۶۳

گ = وچ مجلہ ایچ آئی آر، بن قہلہ لاولت لہ م - خہنلا لپیچ

تلفن مؤسسه در کرج: ۰۲۶۱-۲۸۰۶۰۳۱-۸ (

تلفن مؤسسه در تهران: ۰۲۱-۸۸۷۹۴۶۱-۵ (

دورنگار: کرج ۰۲۶۱-۲۸۰۸۱۱۴ - تهران ۰۲۱-۸۸۸۷۰۸۰-۸۸۸۷۱۰۳ )

بخش فروش - تلفن: ۰۲۶۱-۲۸۰۷۰۴۵ دورنگار: ۰۲۶۱-۲۸۰۷۰۴۵ ☆

پیام نگار: Standard @ isiri.or.ir :

بهاء: ۲۰۰۰ ریال

Headquarters : Institute Of Standards And Industrial Research Of IRAN

P.O.Box: 31585-163 Karaj – IRAN

( **Tel.(Karaj): 0098 (261) 2806031-8**

) **Fax.(Karaj): 0098 (261) 2808114**

**Central Office : Southern corner of Vanak square , Tehran**

**P.O.Box: 14155-6139 Tehran - IRAN**

( **Tel.(Tehran): 0098(21)8879461-5**

) **Fax.(Tehran): 0098 (21) 8887080,8887103**

: **Email: Standard @ isiri.or.ir**

**Price: 2000”RLS**

# کمیسیون استاندارد "اندازه گیری پاسخ طیفی سلول های فتوولتائیک-

## روش آزمون"

### سمت یا نمایندگی

دانشگاه زنجان

### رئیس

صرافی، محسن

(دکترای انرژی)

### اعضاء

شرکت کابل کمان

سهیلی، عبدالکریم

(لیسانس فیزیک)

سازمان انرژی های نو ایران (سانا)

شاهنواز، محمدرضا

(فوق لیسانس مهندسی شیمی)

شرکت برق منطقه ای زنجان

رهروی، مجید

(فوق لیسانس انرژی)

سازمان انرژی های نو ایران (سانا)

زارعی، علی

(لیسانس مهندسی برق)

دانشگاه زنجان

عابدینی، یوسفعلی

(دکترای فیزیک)

### دبیر

اداره کل استاندارد و تحقیقات صنعتی استان زنجان

خدائی فرد، شراره

(فوق لیسانس فیزیک)

# اعضای شرکت کننده در سیمد و چهل و هشتمین اجلاسیه کمیته ملی برق و

## الکترونیک مورخ ۸۴/۱۲/۱۴

### رئیس کمیته ملی

کاظمی، ناصر

(کارشناس اقتصاد)

### نمایندگی

سازمان حمایت مصرف کنندگان و تولیدکنندگان

### اعضاء

خدائی فرد، شراره

(فوق لیسانس فیزیک)

اداره کل استاندارد و تحقیقات صنعتی استان زنجان

رحمتیان، زهرا

(فوق لیسانس فیزیک)

اداره کل برق و الکترونیک مؤسسه استاندارد

رهروی، مجید

(فوق لیسانس انرژی)

شرکت برق منطقه ای زنجان

زارعی، علی

(لیسانس مهندسی برق)

سازمان انرژی های نو ایران

سهیلی، عبدالکریم

(لیسانس فیزیک)

شرکت کابل کمان

شاهنواز، محمدرضا

(فوق لیسانس مهندسی شیمی)

سازمان انرژی های نو ایران

شیروانی، فهیمه

(دیپلم اقتصاد)

مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران

عابدینی، یوسفعلی

(دکتری فیزیک)

دانشگاه زنجان

نوروزی، سعید

(دکتر)

نماینده ریاست مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران

مرکز تحقیقات مخابرات ایران

هاشمی، مهدی

(فوق لیسانس)

دبیر کمیته ملی

مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران

طوماریان، سهیلا

(لیسانس مهندسی الکترونیک)

## فهرست مندرجات ..... صفحه

پیش گفتار	ب
۱ هدف و دامنه کاربرد	۱
۲ مراجع الزامی	۱
۳ اصطلاحات و تعاریف	۲
۴ اصول روش آزمون	۳
۵ اهمیت و کاربرد	۴
۶ وسایل لازم	۴
۷ خطرات	۸
۸ روش های اجرای آزمون	۹
۹ روش محاسبه	۱۲
۱۰ دقت و پیش مقدار	۱۵
۱۱ کلید واژه ها	۱۶



## پیش‌گفتار

استاندارد “اندازه‌گیری پاسخ طیفی سلول‌های فتوولتائیک- روش آزمون استاندارد” که پیش‌نویس آن توسط کمیسیون‌های مربوط تهیه و تدوین شده و در سیصد و چهل و هشتمین جلسه کمیته ملی استاندارد برق و الکترونیک مورخ ۸۴/۱۲/۱۴ مورد تصویب قرار گرفته است، اینک به استناد بند یک ماده ۳ قانون اصلاح قوانین و مقررات مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران مصوب بهمن ماه ۱۳۷۱ بعنوان استاندارد ملی ایران منتشر می‌شود.

برای حفظ همگامی و هماهنگی با تحولات و پیشرفتهای ملی و جهانی در زمینه صنایع، علوم و خدمات، استانداردهای ملی ایران در مواقع لزوم تجدید نظر خواهد شد و هرگونه پیشنهادی که برای اصلاح یا تکمیل این استانداردها ارائه شود، در هنگام تجدید نظر در کمیسیون فنی مربوط مورد توجه قرار خواهد گرفت. بنابراین برای مراجعه به استانداردهای ایران باید همواره از آخرین تجدیدنظر آنها استفاده کرد.

در تهیه و تدوین این استاندارد سعی شده است که ضمن توجه به شرایط موجود و نیازهای جامعه، در حد امکان بین این استاندارد و استاندارد ملی کشورهای صنعتی و پیشرفته هماهنگی ایجاد شود. منبع و مأخذی که برای تهیه این استاندارد بکار رفته به شرح زیر است:

1. ASTM E 1021: 1995 Test Methods for Measuring Spectral Response of Photovoltaic Cells.

## اندازه گیری پاسخ طیفی سلول های فتوولتائیک- روش آزمون

### ۱ هدف و دامنه کاربرد

۱-۱ هدف از تدوین این استاندارد، تعیین پاسخ طیفی نسبی یا مطلق سلول فتوولتائیک خطی می باشد. این روشهای آزمون نیاز به استفاده از نور پیش مقدار دارند.

۲-۱ این روشهای آزمون به منظور استفاده در قطعات فتوولتائیک که به صورت داخلی به هم متصل شده اند به کار نمی رود.

۳-۱ تاکنون استاندارد ایزو مشابه این استاندارد منتشر نشده است.

۴-۱ این استاندارد تمام موارد مرتبط با ایمنی را بیان نمی کند ولی بر بکارگیری آن تأکید دارد. رعایت تمام موارد مربوط به ایمنی، محدودیت های قانونی و کاربردی بر عهده استفاده کننده این استاندارد می باشد.

### ۲ مراجع الزامی

مدارک الزامی زیر حاوی مقرراتی است که در متن این استاندارد به آن ها ارجاع شده است. بدین ترتیب آن مقررات جزئی از این استاندارد محسوب می شود. در مورد مراجع دارای تاریخ چاپ و/یا تجدید نظر، اصلاحیه ها و تجدیدنظرهای بعدی این مدارک مورد نظر نیست. معهدا بهتر است کاربران ذینفع این استاندارد، امکان کاربرد آخرین اصلاحیه ها و تجدیدنظرهای مدارک الزامی زیر را مورد بررسی قرار دهند. در مورد مراجع بدون تاریخ چاپ و/یا تجدیدنظر، آخرین چاپ و/یا تجدید نظر آن مدارک الزامی ارجاع داده شده مورد نظر است. استفاده از مراجع زیر برای کاربرد این استاندارد الزامی است:

۱-۲ استاندارد ملی ایران ۸۴۸۵ : ۱۳۸۴- مشخصات شبیه ساز خورشیدی برای آزمایش فتوولتائیک زمینی.

۲-۲ استاندارد ملی ایران ۸۴۸۷ : ۱۳۸۴- تعیین پارامتر عدم تطبیق طیفی بین یک قطعه فتوولتائیک و یک سلول مرجع فتوولتائیک- روش آزمون

۳-۲ استاندارد ملی ایران ۸۴۹۳ : ۱۳۸۴- تبدیل انرژی خورشیدی فتوولتائیک - اصطلاحات و واژه ها.

2.4 ASTM E 691 Practice for Conducting an Interlaboratory Study to Determine the Precision of Test Method.

2.5 ASTM E 772 Terminology Relating to Solar Energy Conversion

2.6 ASTM E 892 Tables for Terrestrial Solar Spectral Irradiance at Air Mass 1.5 for a 37° Tilted Surface.

### ۳ اصطلاحات و تعاریف

۱-۳ در این استاندارد اصطلاحات و/ یا واژه ها با تعاریفی که در استاندارد ملی ایران ۸۴۹۳ و واژه نامه ASTM E772 شرح داده شده است، به کار می رود.

#### ۲-۳ نمادها:

۱-۲-۳ نمادها و یکاهای زیر در این روش آزمون مورد استفاده قرار می گیرد:

a- ناحیه نوردھی دهی شده سلول،  $m^2$

A- ثابت بهنجار سازی تابش

C- سرعت نور در خلأ،  $ms^{-1}$

E- تابش منبع تک فام،  $Wm^{-2}$

$E_0$ - تابش طیفی مرجع،  $Wm^{-2}$

h - ثابت پلانک،  $\text{JHz}^{-1}$

I - جریان الکتریکی، A

$I_{SC}$  - جریان اتصال کوتاه سلول خورشیدی، A

K - ثابت تبدیل پاسخ طیفی نسبی به مطلق

M - پارامتر عدم تطابق طیفی

q - بار اولیه، C

Q - بازده کوانتم خارجی

$R_a$  - پاسخ طیفی مطلق،  $\text{Aw}^{-1}$

$R_f$  - پاسخ طیفی نسبی

$\lambda$  - طول موج، nm یا  $\mu\text{m}$

۲-۲-۳ - نماد کمیت هایی که تابعی از طول موج هستند به صورت  $X(\lambda)$  ظاهر می شوند.

## ۴ اصول روش آزمون

۱-۴ - پاسخ طیفی سلول فتوولتائیک توسط روش های اجرای آزمون زیر تعیین می شود:

۱-۱-۴ - باریکه نور تک فام به صورت عمود به روی سلول تابیده می شود. بطور همزمان از پرتو

نور سفید پیوسته (نور معین) در تابشی که تقریباً مساوی با شرایط عملکرد استفاده معمولی برای

سلول مورد نظر می باشد جهت تابش بر کل قطعه استفاده می شود.

۲-۱-۴ - بستگی طیفی مؤلفه ac (باریکه) جریان اتصال کوتاه به صورت طول موج نور فرودی که

در محدوده پاسخ طیفی تغییر می کند، پایش می شود. انرژی کل که تابعی از طول موج می باشد با

یک آشکارساز مناسب تعیین می شود.

**۲-۴** پاسخ طیفی مطلق سلول نیاز به معلوماتی از انرژی مطلق در باریکه نور دارد. بنابراین آشکارساز باید قابل ردیابی به پکیج<sup>۱</sup> مربوط به مؤسسه بین المللی استانداردها و تکنولوژی (NIST) یا دیگر استانداردهای مربوط به آشکارسازهای جسم سیاه باشد. در اینصورت پاسخ طیفی مطلق سلول می تواند با استفاده از پاسخ طیفی اندازه گیری شده و تابش چشمه نور محاسبه شود.

## **۵ اهمیت و کاربرد**

**۱-۵** پاسخ طیفی سلول فتوولتائیک نیاز به تفسیر اندازه گیری های آزمایشگاهی روی قطعات دارد و برای محاسبات تئوری مفید می باشد. روش سلول مرجع اندازه گیری عملکرد قطعه فتوولتائیک به عنوان نمونه نیازمند اندازه گیری های پاسخ طیفی می باشد که برای محاسبه پارامتر عدم تطابق طیفی مورد استفاده قرار می گیرد (به استاندارد ملی ایران ۸۴۸۷ مراجعه کنید).

**۲-۵** روش های شرح داده شده در استاندارد برای کاربرد در تحقیق و توسعه و کنترل کیفیت محصول توسط شرکت های سازنده مناسب می باشد.

## **۶ وسایل لازم**

### **۱-۶ آشکارساز طیفی :**

**۱-۱-۶** آشکارسازهای زیر برای استفاده در کالیبراسیون منبع نور تکفام قابل قبول می باشند:

**۱-۱-۱-۶** پرتوسنج پیرو الکترونیک<sup>۱</sup>

**۲-۱-۱-۶** آشکارساز نوری کالیبره شده

### **۲-۶ منبع نور تکفام:**

---

<sup>۱</sup> Package

**۱-۲-۶** انواع وسایل آزمایشگاهی مختلفی برای پرتو نور تک فام موجود می باشد. معمولاً تک فام ساز منشوری یا مشبک که از منبع نور تنگستن یا دیگر منابع نور بهره می برد بیشتر مورد استفاده قرار می گیرد. چشمه های نوری دیگر تک فام، لیزرهای موج پیوسته منفصل و تنظیم پذیر می باشند. محدوده وسیع طول موج های قابل دسترس به همراه کیفیت اپتیکی بالای پرتوهای لیزری به هم پیوسته آنها را جالب توجه کرده است. فیلترهای اپتیکی بانداگذر باریک در اتصال با چشمه نور طیف پهن همانند تنگستن منبع دیگر نور تک فام را ایجاد می کند.

**۲-۲-۶** منبع نور تک فام باید توانائی تأمین طول موج هایی خارج از منطقه پاسخ قطعه مورد آزمون را داشته باشد.

**۳-۲-۶** حداقل به ۱۲ طول موج در داخل محدوده پاسخ طیفی سلول مورد اندازه گیری مورد نیاز است.

**۴-۲-۶** پهنای باندهای طیف چشمه نور تک فام نباید از ۵۰ نانومتر برای اندازه پاسخ طیفی نسبی و از ۲۰ نانومتر برای اندازه پاسخ طیفی مطلق بیشتر شود.

**۵-۲-۶** چشمه نور باید توانایی تأمین غیر یکنواختی  $\pm 2/5$  درصد ناشی از بعد مسافت روی سطح نمونه آزمون و پایداری موقتی  $\pm 1$  درصد در طول مدت اندازه گیری را داشته باشد.

**۶-۲-۶** باید اطمینان حاصل شود که نوسان نور یا اثرات نور مرتبه بالاتر ناچیز هستند. سفارش می شود اپتیک های ورودی و خروجی برش گر به منظور به حداقل رساندن مدولاسیون نور هرز توسط تیغ برش گر در داخل یک محفظه تاریک محصور باشند.

**۷-۲-۶** سفارش می شود چشمه نور تک فام قادر به نوردهی تمام سطح سلول مورد آزمون باشد. در غیر این صورت لازم است پاسخ طیفی در نواحی مختلف سلول با چند اندازه گیری بدست آید.

---

<sup>۱</sup> Pyroelectric

**۸-۲-۶** چنانچه آشکارساز پیرو الکتریک مورد استفاده قرار گیرد (به بند ۶-۱-۱ مراجعه کنید) منبع تکفام باید کل آشکارساز را نوردهی کند و چنانچه آشکارساز نوری کالیبره شده بکار رود، اگر غیر یکنواختی و خطی بودن پاسخ آشکارساز اثبات شده باشد، نوردهی کل آشکارساز ضرورتی ندارد.

**۹-۲-۶** یک شاتر اپتیکی را می توان به منظور برش پرتو تکفام و بنابراین حذف زمان تأخیرهایی که بدلیل مدت زمان گرم شدن چشمه و منبع نور می باشد، بکار برد.

### **۳-۶ برشگر نور تکفام:**

**۱-۳-۶** یک برشگر چرخنده مکانیکی نور یا دستگاه دیگر که برای مدوله کردن چشمه نور تکفام بکار میرود.

**۲-۳-۶** سفارش می شود تیغ های برشگر به منظور حداقل کردن مدولاسیون نور هرز، ضد انعکاس یا سیاه باشد.

### **۴-۶ چشمه نور پیش مقدار:**

**۱-۴-۶** یک نور پیش مقدار باید به منظور اندازه گیری پاسخ طیفی در شرایط تخمینی که تحت شرایط کار استاندارد بدست آمده است، مورد استفاده قرار گیرد. شدت نور باید در حد کافی باشد تا اطمینان حاصل شود سلول مورد آزمون در منطقه پاسخ خطی خود کار می کند که ترجیحا عبارت است از حدود ۳۰ درصد جریان اتصال کوتاه عملکرد عادی آن، وقتی هر دو نور پیش مقدار و چشمه تکفام روشن هستند.

**۲-۴-۶** توزیع طیفی نور پیش مقدار بهتر است بر اساس معیار شبیه ساز گروه C مندرج در جدول ۲ استاندارد ملی ایران ۸۴۸۵ باشد. معمولا غیر یکنواختی  $\pm 10\%$  درصد ناشی از بعد مسافت رضایت بخش می باشد.

۳-۴-۶ سفارش می شود چشمه پیش مقدار شامل هماهنگ‌های مهم فرکانس برش‌گر که در چشمه تک‌فام بکار رفته، نباشد. این کار می‌تواند به سادگی با استفاده از یک منبع تغذیه مستقیم برای نور پیش مقدار، که بخوبی تنظیم شده است به پایان برسد. سفارش می‌شود از بازتاب نور پیش مقدار از تیغه برش‌گر در اثر برخورد با نمونه آزمایشی جلوگیری بعمل آید. لرزش‌های مکانیکی برش‌گر یا دیگر منابع نباید اجازه مدوله شدن به نور پیش مقدار را بدهد.

#### ۵-۶ وسایل آشکار ساز همزمان

۱-۵-۶ یک پیش تقویت کننده به همراه یک تقویت کننده Lock-in ، ولت‌متر ac ، یا ولت‌متر مربع میانگین ریشه حقیقی (RMS)<sup>۱</sup> به منظور آشکار کردن سیگنال‌های برش‌گر سطح پائین قطعات فتوولتائیک و لذا اندازه‌گیری جریان اتصال کوتاه سلول بکار می‌رود. انتخاب پیش تقویت کننده باید شامل ملاحظه الزاماتی باشد که در آن سلول فتوولتائیک باید در حالت جریان اتصال کوتاه و سطح پایین ac ، بخوبی سیگنال dc سطح بالا کار کند. تحت این شرایط امکان دارد پیش تقویت کننده با مبدل متصل شده به مدار ورودی اشباع شده و منجر به خواندن غیر دقیق شود. اگر تقویت کننده اولیه، امپدانس ورودی پایین نداشته باشد الگوی جریان اتصال کوتاه و قطعه فتوولتائیک در حالت اتصال کوتاه با یک مقاومت چهار ترمینالی بجای آن شارژ می‌شود. حتما اطمینان حاصل کنید که افت دو سر مقاومت بار کمتر از ۲۰ میلی‌ولت می‌باشد. محدوده دینامیکی لازم وسایل بستگی به تیغه برش‌گر چشمه استفاده شده خواهد داشت. برای مثال، چشمه تنگستن با یک تک‌فام‌ساز به علت محدوده پهن تغییر شدت در محدوده آزمون طیف مورد نیاز، احتیاج به محدوده دینامیکی با بزرگی چهار تا شش برابر دارد.

---

<sup>۱</sup> Root mean square



۶-۵-۶ برای اندازه گیری های پاسخ طیفی نسبی ضرورتی برای کاربرد وسایل سنجش آشکارسازی همزمان با خروجی جریان اتصال کوتاه بر حسب آمپر نمی باشند.

۶-۵-۳ پاسخ ولت مترهای میانگین ریشه حقیقی (RMS) سپس به منظور تعیین مؤلفه ac باید به مؤلفه های ac و dc جریان اتصال کوتاه تجزیه شود. یک روش پذیرفته شده استفاده کردن ریشه مربع اختلاف مربعات سیگنال و سیگنال پس زمینه (یا نوفه) می باشد.

#### ۶-۶ صفحه آزمون:

۶-۶-۱ صفحه آزمون باید شامل وسایلی باشد که سلول فتوولتائیک مورد آزمون روی آن نصب گردیده و روشن کردن آن را توسط نور اشعه تکفام چشمه نورانی و نور معین امکان پذیر سازد.

۶-۶-۲ صفحه آزمون همچنین باید امکان روشن شدن آشکارساز طیفی (به بند ۶-۴ مراجعه کنید) توسط نور اشعه تکفام و نور معین همچون سلول فتوولتائیک را داشته باشد.

۶-۶-۳ صفحه آزمون باید امکان تنظیم درجه حرارت سلول در  $5 \pm 25$  درجه سلسیوس را داشته باشد.

## ۷ فطرات

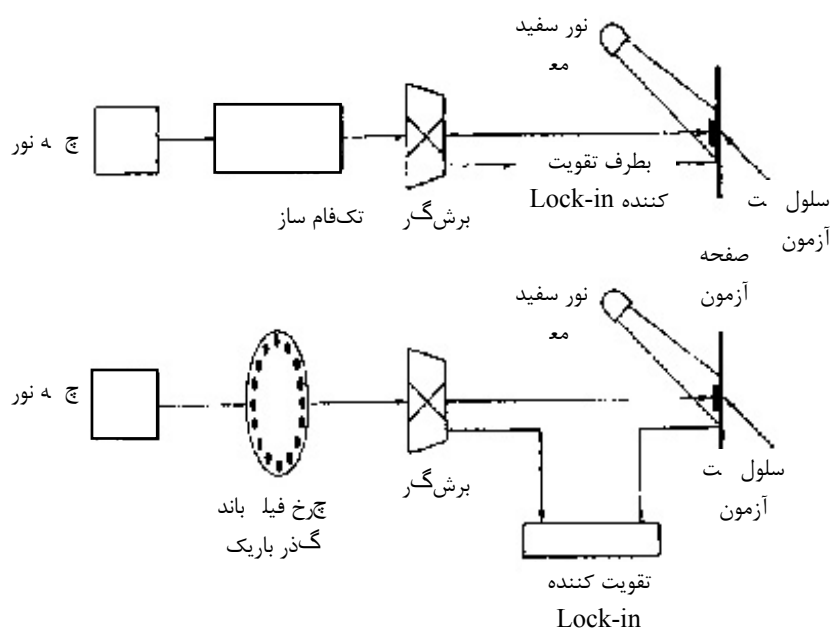
### ۱-۷ اقدام احتیاطی

علاوه بر دیگر اقدامات احتیاطی، برای محافظت و آسیب ندیدن چشم در برابر خطرات احتمالی منابع نور خاص بخصوص اگر لیزر بعنوان منبع نور تکفام بکار گرفته شود باید وسایل ایمنی مناسب مورد استفاده قرار گیرد. وقتی لیزرها یا لامپهای قوسی استفاده می شود امکان وجود ولتاژهای بالا نیز وجود دارد. استفاده از لامپهای قوسی نیز مؤلفه های ماوراء بنفش پخش می کند و احتمال انفجار حباب هم وجود دارد. برش گر نور وقتی با سرعت بالا می چرخد ممکن است خطر مکانیکی ایجاد کند.

## ۸ روش های اجرای آزمون

۸-۱ دو روش اجرایی اندازه گیری عبارتند از: اول یک روش ترتیبی با استفاده از یک صفحه آزمون؛ دوم استفاده از یک تکنیک تک گذاری که هر دو روش را می توان استفاده نمود. شکل ۱ نشان می دهد که چگونه هر دو روش را می توان با یک تکفام ساز یا مجموعه ای از فیلترهای باندهای باریک و تقویت کننده Lock-in بکار برد. برای هر دو روش محدودیت های زیر بکار می رود:

۸-۱-۱ پاسخ طیفی باید در حداقل ۱۲ طول موج از میان محدوده پاسخ طیفی سلول مورد آزمون اندازه گیری شود.



شکل ۱- شمای اندازه گیری تکفام ساز یا فیلترهای باند گذر باریک

۸-۱-۲ برای اندازه گیریهای پاسخ طیفی مطلق، تابش تکفام کل روی صفحه آزمون بصورت تابعی از طول موج همراه با جریان اتصال کوتاه (بر حسب آمپر) سلول مورد آزمون تعیین می شود.

۳-۱-۸ اندازه گیری پاسخ طیفی نسبی فقط نیاز به شدت نسبی بصورت تابعی از طول موج دارد که باید به وسیله آشکارساز تعیین گردد.

۴-۱-۸ اگر آشکارساز، پاسخ طیفی یکنواختی در طول موج های اندازه گیری شده نداشته باشد، لازم است پاسخ طیفی آشکار ساز به منظور جبران پاسخ طیفی ناهموار آشکار ساز تصحیح شود.

## ۲-۸ روش الف:

۱-۲-۸ آشکارساز طیفی را در صفحه آزمون نصب کنید و تمام سطح آشکارساز را با چشمه نوری که از منبع dc تغذیه می شود، نوردهی کنید.

۲-۲-۸ سطح نوفه خروجی آشکار ساز را در حالی که چشمه نور تکفام خاموش می شود، اندازه گیری کنید. سطح نوفه باید کمتر از ۱ درصد از کوچکترین مقدار سیگنال مشاهده شده برای بخشی از توان در محدوده فواصل طول موج اندازه گیری شده در بند ۲-۸-۴ باشد.

۳-۲-۸ چشمه نور تکفام را روشن کنید.

۴-۲-۸ تابش منبع را به صورت تابعی از طول موج با استفاده از خروجی آشکارساز و برآورده شدن الزامات بند ۱-۱-۸ اندازه گیری کنید. طول موج های استفاده شده برای تابش چشمه و اندازه گیری های پاسخ طیفی (به بند ۲-۸-۸ مراجعه کنید) باید یکسان باشد.

**یادآوری ۱-** برای آشکارسازهای پیرو الکتریک امکان دارد روشن بودن نور پیش مقدار در طول اندازه گیری های تابش مناسب نباشد.

۵-۲-۸ پرتو تکفام را خاموش کنید و آشکار ساز را با سلول مورد آزمون جایگزین کنید.

۱-۵-۲-۸ سفارش می شود سلول در صفحه آزمون طوری قرار داده شود که باریکه نور عمده تا توسط سطح فعال سلول قطع شود. بدین سبب میانگین خروجی روشن شدگی و تغییرات طیفی

توسط تمامی سطح حاصل می شود. اگر باریکه نور بیش از ۲۵ درصد سطح سلول را پوشش ندهد، در اینصورت حداقل چهار مجموعه از اندازه گیریها نزدیک مرکز ربع سلول انجام شود.

**۶-۲-۸** کل محدوده طول موج را با اندازه گیری سطح نوفه سیستم به صورت تابعی از طول موج با ثبت کردن خروجی آشکارساز همزمان پوشش کنید.

**۱-۶-۲-۸** سطح نوفه باید کمتر از ۱۰ درصد کوچکترین مقدار مشاهده شده برای پاسخ طیفی در فواصل طول موج اندازه گیری باشد.

**۷-۲-۸** چشمه نور تکفام را روشن کنید.

**۸-۲-۸** خروجی آشکارساز همزمان در هر طول موج معین برای اندازه گیری پاسخ طیفی (به بند ۱-۱-۸ مراجعه کنید) را ثبت کنید.

### **۳-۸ روش ب:**

**۱-۳-۸** سلول مورد آزمون و آشکارساز را در صفحه آزمون قرار دهید و باریکه چشمه نور تکفام را به آنها بتابانید و شرط ۱-۵-۲-۸ را دنبال کنید که این کار با تفکیک پرتو به دو صفحه آزمون معادل جداگانه یا بوسیله قرار دادن سلول و آشکارساز در یک صفحه آزمون تکی ممکن می شود. اگر دو صفحه آزمون جداگانه مورد استفاده قرار گرفته باشد شدت چشمه نور روی هر کدام از دو صفحه در محدوده  $\pm 2$  درصد باید معلوم باشد.

**۲-۳-۸** کنترل کنید که شرایط بند ۸-۲-۸ برآورده شوند.

**۳-۳-۸** منبع نور تکفام را خاموش کنید و منبع نور معین را روشن کنید.

**۴-۳-۸** سطح نوفه آشکارساز را مطابق بند ۲-۲-۸ اندازه بگیرید.

**۵-۳-۸** سطح نوفه سیستم را مطابق بند ۶-۲-۸ اندازه بگیرید.

**۶-۳-۸** چشمه نور تکفام را روشن کنید.

۷-۳-۸ چشمه نور تکفام را با طول موج دلخواه تنظیم کنید و خروجی آشکارساز را ثبت کنید.

۸-۳-۸ خروجی وسایل سنجش آشکارسازی همزمان را در همان طول موج همانگونه که در بند ۶-۳-۸ استفاده شده است، ثبت کنید.

۹-۳-۸ بندهای ۶-۳-۸ و ۷-۳-۸ را به منظور برآورده ساختن الزامات بند ۱-۱-۸ تکرار کنید.

## ۹ روش مناسبه

### ۱-۹ پاسخ طیفی نسبی

چنانچه نوردهی چشمه نور تکفام بزرگتر از ۲۵ درصد سطح سلول باشد پاسخ طیفی نسبی (به بند ۳-۱-۸ مراجعه کنید) بر اساس بند ۱-۱-۹ و اگر روشن شدگی کمتر از ۲۵ درصد سطح سلول باشد بر اساس بند ۲-۱-۹ محاسبه می شود.

#### ۱-۱-۹ نوردهی بزرگتر از ۲۵ درصد سطح سلول:

۱-۱-۱-۹ فاکتور تصحیح،  $A$ ، برای بهنجار کردن چشمه نور تکفام به تابش ثابت در محدوده طیفی اندازه گیری در هر طول موج اندازه گیری، محاسبه می شود. فاکتورهای،  $A_I$  تا  $A_N$ ، که  $N$  تعداد دفعات اندازه گیری طول موج ها می باشند توسط تقسیم خروجی آشکارساز طیفی حداکثر به خروجی آشکارساز طیفی در هر طول موج تعیین می شود. فاکتورهای تصحیح بستگی به تغییرات شدت چشمه نور تکفام در هر طول موج اندازه گیری شده دارد.

یادآوری ۲- خروجی آشکار ساز طیفی همانطور که بیشتر در بند ۴-۱-۸ بحث شده است اگر منحنی آشکارساز، پاسخ یکنواختی روی طول موجهای اندازه گیری نداشته باشد باید بهنجار شود.

۲-۱-۱-۹ هر آشکارساز همزمان،  $I$ ، خوانده شده را در فاکتور تصحیح،  $A$ ، متناظر ضرب کنید بنابراین پاسخ طیفی نسبی در طول موج اندازه گیری شده سوم عبارت است از:

$$R_{r3} = I_3 \times A_3 \quad (1)$$

۲-۱-۹ نوردهی کوچکتر از ۲۵ درصد سطح سلول:

۱-۲-۱-۹ فاکتورهای تصحیح، A، را مطابق با بند ۱-۱-۱-۹ محاسبه کنید.

۲-۲-۱-۹ برای هر ربع سلول (به بند ۱-۵-۲-۸ مراجعه کنید) پاسخ طیفی نسبی را مطابق با بند ۲-۱-۱-۹ تعیین کنید.

۳-۲-۱-۹ متوسط چهار پاسخ طیفی نسبی اندازه گیری شده در هر طول موج را برای بدست آوردن پاسخ طیفی نهایی محاسبه کنید.

۳-۱-۹ پاسخ طیفی نسبی را توسط تقسیم هر مقدار بر پاسخ طیفی حداکثر بهنجار کنید. پاسخ طیفی نسبی در حداکثر واحد خواهد بود.

۴-۱-۹ سپس پاسخ طیفی نسبی بر حسب طول موج رسم شده و همچنین جدولی از زوج داده X-Y تشکیل می شود.

۵-۱-۹ پاسخ طیفی نسبی را می توان با ضرب کردن در یک ثابت به پاسخ طیفی مطلق تبدیل کرد.

۱-۵-۱-۹ ثابت تبدیل را می توان به عنوان نمونه از اندازه گیری دقیق پاسخ طیفی مطلق در یک طول موج  $\lambda_0$  (همچنین با یک لیزر) به صورت زیر بدست آورد:

$$K = R_r(\lambda_0) / R_a(\lambda_0) \quad (2)$$

۲-۵-۱-۹ راه دیگر محاسبه K با استفاده از جریان اتصال کوتاه سلول فتوولتائیک وقتی که توسط یک تابش طیفی معلوم نوردهی می شود، می باشد. مناسب ترین تابش طیفی برای محاسبه یکی از توزیع های تابش طیفی مرجع در جداول ASTM E892 بیان شده است. در اینصورت K با استفاده از فرمول ۳ به شرح زیر محاسبه می شود:

$$K = \frac{I_{sc}}{aM} + \int R_r(\lambda)E_0(\lambda)/d\lambda \quad (3)$$

## ۲-۹ پاسخ طیفی مطلق:

۱-۲-۹ پاسخ طیفی مطلق در هر طول موج اندازه گیری شده را با استفاده از فرمول ۴ به شرح زیر محاسبه کنید:

$$R_a = \frac{I}{aE} \quad (4)$$

**یادآوری ۳-** از آنجائیکه پاسخ طیفی مطلق به سطح واقعی سلول نوردهی شده بستگی دارد هر گونه خطوط شبکه یا اتصالات بسته شده نور تکفام باید توسط کم کردن از سطح سلول نوردهی شده محاسبه شود. همچنین هر خطای اندازه گیری شده در سطح مستقیماً به پاسخ طیفی مطلق منتقل می شود بنابراین بهتر است حداقل سازی شود.

۲-۲-۹ پاسخ طیفی مطلق بر حسب طول موج رسم شده و همچنین جدول زوج داده های X-Y تنظیم شود.

۳-۲-۹ بازده کوانتای خارجی می تواند به پاسخ طیفی مطلق با واحدهای بدون بعد الکترونها بر فوتونها تبدیل شود با استفاده از:

$$Q = \frac{hc}{q} \frac{R_a}{\lambda} \times 10^6 = 1.239852 \frac{R_a}{\lambda} \quad (5)$$

واحد طول موج میکرومتر می باشد.

## ۱۰ دقت و پیش مقدار<sup>۱</sup>

<sup>۱</sup>Bias

به تعریف مندرج در بند ۱۰-۴ مراجعه کنید.

## ۱-۱۰ برنامه آزمون بین آزمایشگاهی

یک مطالعه بین آزمایشگاهی از اندازه گیری پاسخ طیفی بین ۱۹۹۲ تا ۱۹۹۴ انجام شده است. هفت آزمایشگاه سه تکرار روی هر یک از ۱۰ سلول که در بین شرکت کننده ها توزیع شده بود، انجام دادند. طراحی آزمایشها مشابه روش اجرایی ASTM E691 می باشد و تجزیه و تحلیل کلی اطلاعات گرفته شده در گزارش تحقیقات ASTM شماره RR: E44-1003 ارائه شده است.

## ۲-۱۰ نتیجه آزمون

تجزیه و تحلیل داده های مطالعه بین آزمایشگاهی اندازه های پاسخ طیفی بدلیل نداشتن یک نتیجه عددی دشوار می باشد (به بند ۹-۲-۲ مراجعه کنید). این مسئله با انجام محاسبه پارامتر عدم تطابق طیفی مرجع مطابق با استاندارد ملی ایران ۸۴۸۷ که از داده پاسخ طیفی اخذ شده از شرکت کننده ها استفاده می کند، از بین می رود. چون بهنجار سازی در محاسبه ناهماهنگی طیفی تفکیک ناپذیر است، اطلاعات دقیق داده شده در زیر به درصد معرف اندازه گیری پاسخ طیفی نسبی است.

## ۳-۱۰ دقت

۰/۳ درصد	۹۵ درصد حد تکرار پذیری (داخل آزمایشگاهی)
۱/۷ درصد	۹۵ درصد حد قابلیت تولید مجدد (مابین آزمایشگاهی)

## ۴-۱۰ پیش مقدار

پیش مقدار خطای کل بستگی به پیش مقدار هر پارامتر جداگانه ای دارد که در تعیین پاسخ طیفی استفاده شده است. روش های اجرایی در این روش های آزمون بگونه ای طراحی شده اند تا خطای پیش مقدار را تا حد قابل قبولی کاهش دهند.



۱-۴-۱۰ برای اندازه گیری های پاسخ طیفی نسبی خطاهای پیش مقدار مستقل از طول موج بعلت بهنجارسازی حذف می شود. بهر حال خطاهای پیش مقدار وابسته به طول موج ( نظیر خطاهای ناشی از پاسخ آشکار ساز غیر یکنواخت) باعث خطا در نتایج نهایی می شود.

۲-۴-۱۰ برای اندازه گیری های پاسخ طیفی مطلق، خطاهای پیش مقدار بعلت بهنجارسازی حذف نمی شوند بنابراین مستقیماً به نتایج نهایی منتقل می شوند در تمام منابع ممکن پیش مقدار بیشترین خطاها مربوط به کالیبراسیون آشکار ساز و اندازه گیری های مساحت می باشد.

## ۱۱ کلید واژه ها

۱-۱۱ سلول، اندازه گیری، فتوولتائیک، پاسخ، طیفی، آزمایش.

---

---

**ICS:27.160**

**صفحة : 17**

---

---