



جمهوری اسلامی ایران
Islamic Republic of Iran
سازمان ملی استاندارد ایران



استاندارد ملی ایران
۱-۳-۱۹۷۵۸

INSO
19758-3-1

1st Edition
2018

Iranian National Standardization Organization

چاپ اول
۱۳۹۷

Identical IEC
62607-3-1
2014

فناوری نانو - نانو ساخت -
مشخصه‌های کنترلی کلیدی -
قسمت ۱-۳: نانو مواد نورتاب - کارائی
کوانتومی

Nanotechnologies –Nanomanufacturing
–
Key Control Characteristics –
Part 3-1: Luminescent nanomaterials –
Quantum efficiency

ICS 07.030; 07.120

سازمان ملی استاندارد ایران

تهران، ضلع جنوب غربی میدان ونک، خیابان ولیعصر، پلاک ۲۵۹۲

صندوق پستی: ۱۴۱۵۵-۶۱۳۹ تهران - ایران

تلفن: ۵-۸۸۸۷۹۴۶۱

دورنگار: ۸۸۸۸۷۰۸۰ و ۸۸۸۸۷۱۰۳

کرج، شهر صنعتی، میدان استاندارد

صندوق پستی: ۳۱۵۸۵-۱۶۳ کرج - ایران

تلفن: ۸-۳۲۸۰۶۰۳۱ (۰۲۶)

دورنگار: ۸۱۱۴۰۸۱۱۴ (۰۲۶)

رایانامه: standard@isiri.gov.ir

وبگاه: <http://www.isiri.gov.ir>

Iranian National Standardization Organization (INSO)

No.2592Valiasr Ave., South western corner of Vanak Sq., Tehran, Iran

P. O. Box: 14155-6139, Tehran, Iran

Tel: + 98 (21) 88879461-5

Fax: + 98 (21) 88887080, 88887103

Standard Square, Karaj, Iran

P.O. Box: 31585-163, Karaj, Iran

Tel: + 98 (26) 32806031-8

Fax: + 98 (26) 32808114

Email: standard@isiri.gov.ir

Website:<http://www.isiri.gov.ir>

به نام خدا

آشنایی با سازمان ملی استاندارد ایران

سازمان ملی استاندارد ایران به موجب بند یک ماده ۳ قانون اصلاح قوانین و مقررات مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، مصوب بهمن ماه ۱۳۷۱ تنها مرجع رسمی کشور است که وظیفه تعیین، تدوین و نشر استانداردهای ملی (رسمی) ایران را به عهده دارد.

تدوین استاندارد در حوزه‌های مختلف در کمیسیون‌های فنی مرکب از کارشناسان سازمان، صاحب‌نظران مراکز و مؤسسات علمی، پژوهشی، تولیدی و اقتصادی آگاه و مرتبط انجام می‌شود و کوششی همگام با مصالح ملی و با توجه به شرایط تولیدی، فناوری و تجاری است که از مشارکت آگاهانه و منصفانه صاحبان حق و نفع، شامل تولیدکنندگان، مصرف‌کنندگان، صادرکنندگان و واردکنندگان، مراکز علمی و تخصصی، نهادها، سازمان‌های دولتی و غیردولتی حاصل می‌شود. پیش‌نویس استانداردهای ملی ایران برای نظرخواهی به مراجع ذی‌نفع و اعضای کمیسیون‌های مربوط ارسال می‌شود و پس از دریافت نظرها و پیشنهادهای در کمیته ملی مرتبط با آن رشته طرح و در صورت تصویب، به عنوان استاندارد ملی (رسمی) ایران چاپ و منتشر می‌شود.

پیش‌نویس استانداردهایی که مؤسسات و سازمان‌های علاقه‌مند و ذی‌صلاح نیز با رعایت ضوابط تعیین شده تهیه می‌کنند در کمیته ملی طرح، بررسی و در صورت تصویب، به عنوان استاندارد ملی ایران چاپ و منتشر می‌شود. بدین ترتیب، استانداردهایی ملی تلقی می‌شود که بر اساس مقررات استاندارد ملی ایران شماره ۵ تدوین و در کمیته ملی استاندارد مربوط که در سازمان ملی استاندارد ایران تشکیل می‌شود به تصویب رسیده باشد.

سازمان ملی استاندارد ایران از اعضای اصلی سازمان بین‌المللی استاندارد (ISO)^۱، کمیسیون بین‌المللی الکتروتکنیک (IEC)^۲ و سازمان بین‌المللی اندازه‌شناسی قانونی (OIML)^۳ است و به عنوان تنها رابط^۴ کمیسیون کدکس غذایی (CAC)^۵ در کشور فعالیت می‌کند. در تدوین استانداردهای ملی ایران ضمن توجه به شرایط کلی و نیازمندی‌های خاص کشور، از آخرین پیشرفت‌های علمی، فنی و صنعتی جهان و استانداردهای بین‌المللی بهره‌گیری می‌شود.

سازمان ملی استاندارد ایران می‌تواند با رعایت موازین پیش‌بینی شده در قانون، برای حمایت از مصرف‌کنندگان، حفظ سلامت و ایمنی فردی و عمومی، حصول اطمینان از کیفیت محصولات و ملاحظات زیست‌محیطی و اقتصادی، اجرای بعضی از استانداردهای ملی ایران را برای محصولات تولیدی داخل کشور و/یا اقلام وارداتی، با تصویب شورای عالی استاندارد، اجباری کند. سازمان می‌تواند به منظور حفظ بازارهای بین‌المللی برای محصولات کشور، اجرای استاندارد کالاهای صادراتی و درجه‌بندی آن را اجباری کند. هم‌چنین برای اطمینان بخشیدن به استفاده‌کنندگان از خدمات سازمان‌ها و مؤسسات فعال در زمینه مشاوره، آموزش، بازرسی، ممیزی و صدور گواهی سیستم‌های مدیریت کیفیت و مدیریت زیست‌محیطی، آزمونگاه‌ها و مراکز واسنجی (کالیبراسیون) وسایل سنجش، سازمان ملی استاندارد این‌گونه سازمان‌ها و مؤسسات را بر اساس ضوابط نظام تأیید صلاحیت ایران ارزیابی می‌کند و در صورت احراز شرایط لازم، گواهینامه تأیید صلاحیت به آن‌ها اعطا و بر عملکرد آن‌ها نظارت می‌کند. ترویج دستگاه بین‌المللی یکاها، واسنجی وسایل سنجش، تعیین عیار فلزات گرانبها و انجام تحقیقات کاربردی برای ارتقای سطح استانداردهای ملی ایران از دیگر وظایف این سازمان است.

1- International Organization for Standardization

2- International Electrotechnical Commission

3- International Organization for Legal Metrology (Organisation Internationale de Metrologie Legals)

4-Contact point

5- Codex Alimentarius Commission

کمیسیون فنی تدوین استاندارد

«فناوری نانو- نانو ساخت - مشخصه‌های کنترلی کلیدی - قسمت ۳-۱: نانو مواد نورتاب - کارائی

کوانتومی»

(چاپ اول)

رئیس :

کاوه وش، زهرا

(دکتری مهندسی برق)

سمت و / یا محل اشتغال

دانشگاه صنعتی شریف- دانشکده برق و کامپیوتر

دبیر :

نیک فرجام، علی رضا

(دکتری مهندسی برق)

دانشگاه تهران- دانشکده علوم و فنون نوین

اعضاء : (اسامی به ترتیب حروف الفباء)

چوخالچی زاده مقدم، امین

(کارشناسی ارشد نانو فناوری)

ستاد ویژه توسعه فناوری نانو

راضی آستارائی، فاطمه

(دکتری فیزیک)

دانشگاه تهران- دانشکده علوم و فنون نوین

رجبی، شیما

(کارشناسی ارشد مهندسی برق-الکترونیک)

ستاد ویژه توسعه فناوری نانو

ساسانی قمصری، مرتضی

(دکتری فوتونیک)

سازمان انرژی اتمی ایران - پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای

فرهمندنژاد، محمد امین

(کارشناسی ارشد شیمی تجزیه)

پژوهشگاه فضایی ایران

قاسمپور، رقیه

(دکتری نانوفناوری)

دانشگاه تهران- دانشکده علوم و فنون نوین

ویراستار

نوربخش، رویا

(کارشناسی ارشد سم شناسی)

پژوهشگاه استاندارد - پژوهشکده غذایی و کشاورزی- گروه

پژوهشی بیولوژی

فهرست مندرجات

صفحه	عنوان
ج	پیش گفتار
ح	مقدمه
۱	۱ هدف و دامنه کاربرد
۱	۲ مراجع الزامی
۱	۳ اصطلاحات و تعاریف
۷	۴ نکات عمومی در مورد آزمون‌ها
۷	۱-۴ کلیات
۷	۲-۴ شرایط محیطی
۷	۳-۴ درخشان کردن نوری و رنگ زدائی نوری
۸	۴-۴ نورتابی آلودگی‌ها در طول موج‌های تابشی تحریکی کمتر از ۳۸۰ نانومتر
۸	۵-۴ بهداشت صنعتی
۸	۵ اندازه‌گیری کارائی کوانتومی نسبی نانو مواد
۸	۱-۵ کلیات
۹	۲-۵ وسایل
۱۱	۳-۵ کالیبراسیون
۱۳	۴-۵ فرایند تجربی
۱۸	۶ اندازه‌گیری کارائی کوانتومی مطلق نانو مواد
۱۸	۱-۶ کلیات
۲۰	۲-۶ تجهیزات آزمون
۲۲	۳-۶ کالیبراسیون
۲۳	۴-۶ آماده‌سازی نمونه
۲۴	۵-۶ روش آزمون
۳۲	۷ حالت عدم قطعیت
۳۲	۸ گزارش آزمون
۳۴	پیوست الف
۳۷	کتاب نامه

پیش گفتار

استاندارد « فناوری نانو- نانو ساخت- مشخصه‌های کنترلی کلیدی- قسمت ۳-۱: نانو مواد نورتاب- کارائی کوانتومی » که پیش‌نویس آن در کمیسیون‌های مربوط بر مبنای پذیرش استانداردهای بین‌المللی/منطقه‌ای به عنوان استاندارد ملی ایران به روش اشاره شده در مورد الف، بند ۷، استاندارد ملی ایران شماره ۵ تهیه و تدوین شده، در شصت و نهمین اجلاسیه کمیته ملی استاندارد فناوری نانو مورخ ۹۷/۵/۲۲ تصویب شد. اینک این استاندارد به استناد بند یک ماده ۳ قانون اصلاح قوانین و مقررات مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، مصوب بهمن ماه ۱۳۷۱، به عنوان استاندارد ملی ایران منتشر می‌شود.

استانداردهای ملی ایران بر اساس استاندارد ملی ایران شماره ۵ (استانداردهای ملی ایران- ساختار و شیوه نگارش) تدوین می‌شوند. برای حفظ همگامی و هماهنگی با تحولات و پیشرفت‌های ملی و جهانی در زمینه صنایع، علوم و خدمات، استانداردهای ملی ایران در صورت لزوم تجدیدنظر خواهند شد و هر پیشنهادی که برای اصلاح یا تکمیل این استانداردها ارائه شود، در هنگام تجدیدنظر در کمیسیون فنی مربوط، مورد توجه قرار خواهد گرفت. بنابراین، باید همواره از آخرین تجدیدنظر استانداردهای ملی ایران استفاده کرد.

این استاندارد ملی بر مبنای پذیرش استاندارد بین‌المللی زیر به روش «معادل یکسان» تهیه و تدوین شده و شامل ترجمه تخصصی کامل متن آن به زبان فارسی می‌باشد و معادل یکسان استاندارد بین‌المللی مزبور است:

منبع و ماخذی که برای تهیه این استاندارد مورد استفاده قرار گرفته به شرح زیر است:

IEC 62607-3-1:2014 Nanomanufacturing – Key Control Characteristics- Part 3-1: Luminescent nanomaterials – Quantum efficiency

مقدمه

یکی از محرک‌های اصلی در به‌کارگیری افزارهای روشنایی حالت جامد^۱ (SSL) کارایی بالقوه آن‌ها برای تبدیل الکتریسیته به نور می‌باشد. افزارهای نورتاب فلورسنتی و رشته‌ای تنها کارایی در حدود ۵٪ الی ۳۰٪ دارند که افزارهای روشنایی رشته‌ای کارایی کمتری دارند. از آنجائی که بخش قابل توجهی از کل الکتریسیته مصرفی برای تولید نور تلف می‌شود، افزایش کارایی افزارهای نورتاب اثر فوق العاده بزرگی در کاهش مصرف انرژی جهانی خواهند داشت. کارایی روشنایی افزارهای SSL یک مشخصه اندازه‌گیری اصلی از کارایی کلی آنها می‌باشد و روش‌های استاندارد برای اندازه‌گیری این مشخصه پایه گذاری شده‌است که برای حصول اطلاعاتی قابل اطمینان برای سازندگان و مصرف کنندگان ضروری است. این استاندارد سازی در خصوص مواد نورتاب که در آن سازندگان دیودهای نورتاب^۲ (LED) بتوانند به آن اعتماد کنند، صدق می‌کند. با این وجود چنین استاندارد در حال حاضر وجود ندارد. این استاندارد دستورالعمل جامعی برای مقایسه نانو مواد نورتاب تولید شده توسط تولید کنندگان مختلف و به‌صورت بالقوه برای مواد نورتاب مورد استفاده در LED ها به‌صورت عمومی در اختیار سازندگان SSL قرار می‌دهد.

معمول‌ترین افزارهای SSL از یک دیود نورتاب آبی LED و یک ماده نورتاب تشکیل شده‌اند. این دیود به‌صورت نوری لومینوفرها را تحریک می‌کند که نوری با رنگ مناسب یا ترکیب رنگ‌هایی را که برابند طیفی آنها سفید باشد تابش کند. این افزار دیود نورتاب مبدل فسفری نامگذاری می‌گردد که به‌صورت غیر مستقیم الکتریسیته را به نور سفید تبدیل می‌کند. این کار ابتدا با ایجاد نور آبی و سپس تبدیل نور آبی به تابش طیف وسیع نور مرئی انجام می‌دهد. امروزه نقاط کوانتومی یا نانو فسفرها انتخابی مناسب برای مواد نورتاب است که طول موج دیود نورتاب آبی را به طیف وسیع نور سفید تبدیل می‌کند. امروزه نقاط کوانتومی و نانو فسفرها به دلایل مختلف مانند: انعطاف پذیری بیشتر در تولید رنگ‌های مختلف، طیف تابشی با پهنای باریک، طیف جذبی وسیع، زمان لخته شدن نزدیک به نامحدود، رنگ زدائی کاهش‌یافته و پراکندگی نوری کمتر در مقایسه با فسفرهای مرسوم که نوعاً از ۵ میکرو متر بزرگتر هستند، در این کاربرد مورد توجه می‌باشند. ^۳pc-LED های تقویت شده با نقاط کوانتومی نشان داده شده‌است، که می‌توانند بهترین ترکیب ممکن از نمود رنگ، دمای وابسته به رنگ و کارایی نوری بالاتر از هر pc-LED موجود در بازار را داشته‌باشند.

یک متغیر اندازه‌گیری حیاتی برای مواد نورتاب مورد استفاده در صنعت روشنایی، کارایی کوانتومی می‌باشد. که در این استاندارد به‌صورت تعداد فوتون‌های منتشر شده در فضای آزاد توسط نانو ذره نورتاب تقسیم بر

1 -Solid State Lighting (SSL)

2 -Light Emitting Diode(LED)

3 -Phosphor-Converted Light Emitting Diode (PC-LED)

تعداد فوتون‌های جذب شده توسط نانو ذره، تعریف می‌شود. تامین‌کنندگان نقاط کوانتومی و نانو مواد نورتاب نوعاً فقط کارائی کوانتومی نسبی (یا به طور جایگزین بازده کوانتومی) را در فاز محلول اندازه‌گیری می‌کند. این امر به دلیل سادگی چنین روش اندازه‌گیری و کاربردی بودن آن در تصویر برداری پزشکی زیستی به عنوان یکی از کاربردهای وسیع نقاط کوانتومی در تحقیق و توسعه) می‌باشد. این اندازه‌گیری‌ها اغلب در غلظت‌های پائین انجام می‌شوند، که در آن اثراتی مانند تجمع نانو ذره و باز جذب توسط سایر نقاط کوانتومی به حداقل رسیده است. در حالی که در کاربردهای نهائی، غلظت‌های واقعی نانو مواد نورتاب ممکن است به شدت متفاوت باشند. برای مثال در یک افزاره SSL ترکیب‌های غلظتی متفاوتی از نانو ذره نورتاب (در حالت جامد یا محلول) ممکن است برای رسیدن به شارش نوری مطلوب و دمای رنگ مربوط نیاز باشد. این استاندارد برای اولین بار آن روش را تدوین کرده و یک روش اندازه‌گیری کارائی کوانتومی مطلق را هم برای نمونه‌های جامد (یعنی نانو ذرات نورتاب جای گرفته در یک یک ماتریس پلیمری، لایه نشانی شده روی شیشه نوری، مستقیماً اعمال شده به دیودهای نورتاب و دیگر موارد) و هم برای نمونه‌های مایع (یعنی نانو ذرات معلق کلونیدی) را ایجاد می‌کند. این روش تامین‌کنندگان و خریداران را قادر می‌سازد که کارائی یک ماده را با دیگری هم در فاز اولیه (محلول) و هم در فاز فناورانه نهائی (جامد) مقایسه کنند.

فناوری نانو- نانو ساخت- مشخصه‌های کنترلی کلیدی- قسمت ۳-۱: نانو مواد نورتاب- کارائی کوانتومی

۱ هدف و دامنه کاربرد

هدف از تدوین این استاندارد، تعیین اصول کلی است که باید برای انجام اندازه‌گیری‌های تجدید پذیر کارائی کوانتومی نانو مواد نورتاب در نظر گرفته شود. نانو مواد نورتاب مورد بحث در این روش شامل نانو اشیائی مانند نقاط کوانتومی، نانو فسفرها، نانو ذرات، نانو فیبرها، نانو کریستالها، نانو صفحه‌ها و ساختارهایی شامل این مواد می‌باشند. نانو مواد ممکن است در یکی از دو حالت مایع (مانند پخش کلوئیدی نقاط کوانتومی) یا جامد (مانند نانو فیبرها دربردارنده نانو ذرات نورتاب) پخش شده باشند. این استاندارد برای اندازه‌گیری‌های نسبی مواد نورتاب فاز مایع و نیز اندازه‌گیری مطلق نانو مواد در هر دو حالت جامد و مایع کاربرد دارد.

۲ مراجع الزامی

مدارک الزامی زیر حاوی مقرراتی است که در متن این استاندارد ملی به آنها ارجاع داده شده‌است. بدین ترتیب آن مقررات جرئی از این استاندارد ملی ایران محسوب می‌شود. در صورتی که به مدرکی با ذکر تاریخ انتشار ارجاع داده شده باشد، اصلاحیه‌ها و تجدید نظرهای بعدی آن مورد نظر این استاندارد ملی نیست. در مورد مدارکی که بدون ذکر تاریخ انتشار به آنها ارجاع شده‌است، همواره آخرین تجدید نظر و اصلاحیه‌های بعدی آن مورد نظر است.

استفاده از مرجع زیر برای کاربرد استاندارد الزامی است:

2-1- CIE 017/E:2011, International Lighting Vocabulary

۳ اصطلاحات و تعاریف، نمادها، سرواژه‌ها و کوتاه نوشت‌ها

در این استاندارد علاوه بر اصطلاحات و تعاریف، سرواژه‌ها و کوتاه نوشت‌های زیر، اصطلاحات و تعاریف نوشته شده در استاندارد بین المللی CIE 017/E:2011 هم چنین استاندارد بین المللی ISO TS 80004-2 به کار می‌رود.

یادآوری- هم چنین به ISO TS 80004-2 مراجعه شود.

۱-۳

جذب

absorbance

این کمیت به منفی لگاریتم زمینیهی ۱۰ نسبت شدت نور عبوری از نمونه (I) به شدت نور فرودی (I_0) در یک طول موج مشخص گفته می‌شود.

یادآوری- بیان ریاضی جذب برابر با $-\log(I/I_0)$ است. در صورت وجود تلفات دیگر (مانند انعکاس و پراکندگی) اصلاحات مناسب به منظور تصحیح این رابطه، نیاز است.

۲-۳

جذب سطحی

absorptance

نسبت تشعشع یا شار نوری در یک بازه طیفی مشخص که توسط یک محیط جذب می‌شود به همان، از منبع نور فرودی است.

یادآوری- جمع انعکاس نیم‌کروی، عبور نیم‌کروی و جذب برابر یک است.

۳-۳

مفهوم جذب

absorption

به فرایندی گفته می‌شود که در آن ماده فوتون‌ها را از نور ورودی گرفته و آن را تبدیل به نوع دیگری از انرژی مانند گرما می‌کند.

یادآوری- کل شار فوتون ورودی توسط فرایندهای جذب، انعکاس و عبور باید در نظر گرفته شود.

۴-۳

روش نورتاب شی موازی

collimated incident light method

روش تعیین کارائی کوانتومی مطلق که در آن از یک پرتو نور موازی، مانند یک لیزر، که وارد یک کره جمع‌کننده حاوی نمونه مورد اندازه‌گیری شده، استفاده می‌شود.

۵-۳

روش نور برخوردی پخش‌شده

diffuse incident light method

روش تعیین کارائی کوانتوم مطلق که در آن از یک پرتو نوری پخش‌شده از یک لیزر، دیود نورتاب یا دیگر منابع، که وارد یک کره جمع‌کننده محتوی نمونه مورد اندازه‌گیری شده، استفاده می‌شود.

۳-۶

زمینه

matrix

اجزاء سازنده یک نمونه، غیر از ماده تحت آنالیز می‌باشد.

یادآوری - مواد سازنده زمینه به طور معمول مواد آلی بی اثر یا معدنی هستند که شامل نانو ذرات نورتاب می‌باشند.

۳-۷

نانوماده

nanomaterial

ماده‌ای که همه ابعاد خارجی آن نانو مقیاس است، و ساختار داخلی یا بیرونی (خارجی) آن نانو مقیاس است.

یادآوری - این اصطلاح عمومی شامل نانو شیء و ماده نانو ساختار است.

برگرفته از استاندارد نانو ساخت - ساخت و تولید انبوه در حوزه نانو الکترونیک (2015) IEC/IEEE62659

۳-۸

چگالی نوری

optical density

OD

به منفی لگاریتم پایه ۱۰ نسبت شدت نوری که از نمونه در یک طول موج مشخص عبور می‌کند به شدت منبع نور فرودی در همان طول موج، گفته می‌شود.

یادآوری - مخفف چگالی نوری OD است. با در نظر گرفتن تلفات انعکاسی در ابتدا، چگالی نوری و کمیت جذب یک نمونه برابر می‌شوند.

۳-۹

رنگبری نوری

photobleaching

پدیده‌ای در نانو مواد نورتاب رخ می‌دهد که در آن مشخصه نورتابی نانو ماده، توسط تابش نور لازم برای فعال سازی نورتابی نوری، کاهش یافته یا از بین می‌رود.

یادآوری- نتیجه کلی رنگبری نوری، کاهش کارایی کوانتومی در طول زمان می‌باشد.

۱۰-۳

درخشان کردن نوری

photobrightening

پدیده‌ای که در نقاط کوانتومی و دیگر نانو مواد نورتاب رخ می‌دهد و در آن شدت نور تابشی از نانو ماده، در یک شار تابشی از نور فرودی به تدریج در یک دوره زمانی، افزایش می‌یابد.

یادآوری- نتیجه کلی درخشان کردن نوری، افزایش کارایی کوانتومی در طول زمان می‌باشد.

۱۱-۳

کارایی تبدیل توان

power conversion efficiency

نسبت توان نوری در تابش منتشر شده، به توان نوری مورد نیاز برای نورتابی می‌باشد.

۱۲-۳

نقطه کوانتومی

quantum dot

نانو بلور نیم رسانایی است که خواصی وابسته به اندازه را از طریق محدودیت اثرات کوانتومی روی ترازهای الکترونیکی از خود نشان می‌دهد.

۱۳-۳

کارایی کوانتومی

quantum efficiency

کارایی تابش نور از نانو مواد نورتاب می‌باشد.

یادآوری ۱- کارایی کوانتومی هم‌چنین به عنوان بازده کوانتومی شناخته می‌شود.

یادآوری ۲- کارایی کوانتومی برای نانو مواد نورتاب، نسبت تعداد فوتون‌های منتشر شده به تعداد فوتون‌های جذب شده می‌باشد. برای رسیدن به اهداف این استاندارد، برای اندازه‌گیری کارایی کوانتومی معیار فوتون‌های تابیده شده توسط نانو ماده نورتاب به فضای آزاد می‌باشد، این امر نشان دهنده کارایی کوانتومی خارجی می‌باشد.

۱۴-۳

کارایی کوانتومی نسبی

relative quantum efficiency

کارایی کوانتومی که نسبت به مقدار آن در یک ماده مرجع استاندارد مشخصه‌یابی شده، اندازه‌گیری شده‌است.

۱۵-۳

کارایی کوانتومی مطلق

absolute quantum efficiency

به کارایی کوانتومی تعیین شده از طریق اندازه‌گیری مقداری که به طور مستقیم متناسب با تعداد فوتون‌های گسیل و جذب شده‌است، اطلاق می‌شود.

یادآوری- استانداردهای واسنجی استفاده شده برای تعیین کارایی کوانتومی مطلق، باید قابل ردیابی به استانداردهای اولیه یا استانداردهای مرجع ملی باشند (مانند NIST).

۱۶-۳

کارایی کوانتومی خارجی

external quantum efficiency

به نسبت تعداد کلی فوتون‌های گسیل شده به فضای آزاد توسط یک ماده نورتاب، به تعداد فوتون‌های جذب شده توسط ماده، گفته می‌شود.

یادآوری- برای مقاصد این استاندارد، کارایی کوانتومی خارجی (EQE) و کارایی کوانتومی به جای هم قابل استفاده می‌باشند.

۱۷-۳

کارایی کوانتومی داخلی

internal quantum efficiency

نسبت تعداد کلی فوتون‌های گسیل شده توسط یک ماده نورتاب، داخل یک افزاره یا ماده، به تعداد فوتون‌های جذب شده توسط ماده، صرف‌نظر از این که فوتون‌ها بتوانند به فضای آزاد گسیل شوند را می‌گویند.

یادآوری- تفاوت بین کارائی کوانتومی داخلی (IQE) و کارائی کوانتومی خارجی (EQE) آنست که IQE شامل تمام فوتون‌های گسیل شده توسط یک ماده نورتاب خواهد بود در حالی که EQE تنها شامل آن دسته از فوتون‌هایی می‌باشد که به فضای آزاد گسیل می‌شوند.

۱۸-۳

انرژی تابشی

radiant energy

Q

به انرژی حمل شده به صورت امواج الکترومغناطیس اطلاق می‌شود.

یادآوری- انرژی تابشی معمولاً در واحد ژول یا وات در ثانیه بیان می‌شود. واحد کوانتائی انرژی تابشی، فوتون می‌باشد.

۱۹-۳

شار تابشی

radiant flux

Φ

به شار زمانی جریان انرژی تابشی گفته می‌شود.

یادآوری- شار تابشی نوعاً بر حسب وات بیان می‌شود.

۲۰-۳

شار تابشی طیفی

spectral radiant flux

به شار تابشی بر واحد بازه طول موج حول یک طول موج مشخص (λ) اطلاق می‌شود.

یادآوری- شار تابشی طیفی نوعاً توسط $\Phi\lambda$ مشخص می‌شود که برابر است با $d\Phi/d\lambda$ و معمولاً با واحد وات بر نانومتر بیان می‌شود.

۲۱-۳

ماده مرجع استاندارد

standard reference material

SRM

ماده‌ای که نسبت به یک یا چند خاصیت ویژه مشخصه‌یابی شده، کاملاً همگن و پایدار باشد.

یادآوری - SRMها همراه با مدرکی هستند که مقادیر این ویژگی‌ها را با قابلیت رد یابی به واحد صحیح واقعی و هر مقدار گواهی شده شامل یک عدم قطعیت در یک سطح اطمینان مشخص می‌کند. (همچنین کتابچه اندازه‌شناسی SIPM، ویرایش دوم دسامبر ۲۰۰۳ را ببینید).

۴ نکات عمومی در مورد آزمون‌ها

۴-۱ کلیات

همان‌طور که در این استاندارد توضیح داده شده‌است، توصیه می‌شود که عملیات آزمونگاهی خوبی در خصوص آزمون‌های کارائی کوانتومی نانومواد نورتاب، انجام شود. مخصوصاً سطحی که آزمون‌ها روی آن انجام می‌شود باید تمیز و عاری از هرگونه آلودگی و کثیفی و منابع آلوده‌کننده باشد.

۴-۲ شرایط محیطی

تجهیزات آزمون باید در محیطی با پایداری دمائی محیطی مطلوب 25 ± 2 °C، رطوبت نسبی و جریان هوای پایدار، قرار داده شوند. از مکان‌هایی با گرمایش از کف، تهویه هوا یا دریچه‌های تهویه مطبوع یا فن‌های بزرگ باید خودداری گردد. زیرا هر تغییری در جابجائی هوا ممکن است تاثیر نامطلوبی روی نتایج اندازه‌گیری‌ها داشته‌باشد. دمای محیطی اتاق باید به‌صورت پیوسته اندازه‌گیری شده و همراه نتایج آزمون گزارش شود. در زمان اندازه‌گیری دمای اتاق، حسگر دما باید از تابش نور مستقیم از هر منبعی، محافظت گردد.

به‌علاوه از آن‌جائی که پرتوهای نور می‌توانند روی نتایج آزمون به‌طورناخواسته تاثیر بگذارند، نور زمینه باید در کمترین سطح ممکن در تمام آزمون‌ها، نگه داشته شود.

۴-۳ درخشان کردن نوری و رنگ زدائی نوری

وقتی نانو مواد نورتاب به‌وسیله منابع تحریک با شدت بالا مورد تابش قرار می‌گیرند، می‌توانند هر دو رفتار درخشان کردن نوری (حالتی که کارائی تابشی ماده در حین تابش افزایش می‌یابد) و رنگ زدائی نوری (حالتی که کارائی تابشی ماده در حین تابش کاهش می‌یابد) را از خود نشان دهند. درخشان کردن نوری می‌تواند برگشت پذیر (حالتی که با قطع کردن منبع تحریک از نمونه، کارائی به مقدار پایدار اولیه خود بر می‌گردد) یا غیر قابل برگشت باشد. رنگ زدائی نوری معمولاً به دلیل تخریب فیزیکی یا تجزیه ماده، غیر قابل برگشت است. این دو پدیده می‌توانند منجر به ایجاد خطا در اندازه‌گیری‌های کارائی شده و بنابراین باید

برای حذف یا کاهش اثرات آنها طی اندازه‌گیری از طریق پایش دقیق بر پیشینه قرارگیری نمونه در معرض نور فرودی به نمونه، مراقبت نمود. توان تحریک نمونه (این توان به حداقل میزانی که منجر به تخریب سیگنال به نوبه نشود، کاهش یابد) و همچنین مدت زمان تابش تحریک نمونه (توصیه می‌شود این زمان به حداقل زمان لازم که منجر به تخریب سیگنال به نوبه نشود، کاهش یابد). باید مورد توجه قرار گیرند.

۴-۴ نورتابی آلودگی‌ها در طول موج‌های تابشی تحریکی کمتر از ۳۸۰ نانومتر

آلودگی‌های هوا مانند گرد و غبار، هیدروکربن‌ها و پرز پارچه می‌توانند در طول زمان در کره متمرکزکننده انباشته شوند. این آلودگی‌ها می‌توانند تحت تابش UV (کمتر از ۳۸۰ نانومتر)، نورتابی کنند و بنابراین سبب تضعیف سیگنال تحریک و یا سیگنال تابشی گردند. به علاوه برخی مواد انعکاس دهنده قوی که برای پوشش کره‌های متمرکزکننده استفاده می‌شوند، ممکن است تابش‌های پارازیتی ذاتی از خود نشان دهند که با تمیز کردن کره نیز قابل حذف نمی‌باشد. اثر نورتابی بواسطه انعکاس‌های متعدد داخل کره متمرکزکننده تقویت می‌شود. بنابراین مشخصه‌یابی خواص نورتابی کره متمرکزکننده و انجام اصلاحات مناسب، مخصوصاً وقتی اندازه‌گیری‌ها توسط منابع تحریک فرا بنفش انجام می‌شود، اهمیت دارد. روش‌هایی برای اصلاح این نورتابی ناخواسته وجود دارد [۱۲].

۴-۵ بهداشت صنعتی

به طور عمومی، اطلاعات محدودی در مورد اثرات محیطی، سلامتی و ایمنی نانو مواد موجود است. به همین ترتیب اثرات تماس بدن انسان با نانومواد ناشناخته می‌باشند، با این وجود استانداردهای بین‌المللی مواجهه با نانومواد در حال تدوین می‌باشند. تا زمان دستیابی به اطلاعات تکمیلی، توصیه می‌شود، روش‌های آزمون‌گاهی محتاطانه برای به حداقل رساندن میزان مواجهه با نانو مواد، به کار رود.

اطلاعات و توصیه‌هایی در مورد جابجائی ایمن نانو مواد موجود می‌باشد و باید از آنها پیروی کرد.

یادآوری-یک مرجع مناسب در این خصوص، یکی از انتشارات انستیتو ملی ایالات متحده آمریکا برای سلامت و ایمنی حرفه-ای ۱۲۵-۲۰۰۹ [۳] می‌باشد.

۵ اندازه‌گیری کارائی کوانتومی نسبی نانو مواد

۵-۱ کلیات

اندازه‌گیری‌های نسبی کارائی کوانتومی با استفاده از یک ماده مرجع استاندارد که خواص آن به خوبی مشخص شده انجام می‌شود. به دلیل استفاده وسیع از روش‌های اندازه‌گیری نسبی، مراجع زیادی وجود دارند که دستگاه و روش‌های چیدمان در اندازه‌گیری‌های نورتابی را توصیف می‌کنند [۷ و ۶ و ۵ و ۴] مراجعه کنید). مثالی از یک ماده مرجع استاندارد استفاده شده در اندازه‌گیری‌های کارائی کوانتومی نسبی، استفاده

از یک رنگدانه آلی نورتاب با کارائی شناخته شده در تعیین کارائی نقاط کوانتومی معلق کلئیدی می‌باشد. مثال‌هایی از کارائی کوانتومی برخی نمونه‌های استاندارد نوعی در منبع ۸ کتابنامه ذکر شده‌است. مرحله اول این فرایند، آماده‌سازی یک منحنی واسنجی در یک ناحیه طیفی مشخص با استفاده از رنگدانه آلی نورتاب می‌باشد. در ادامه، کارائی کوانتومی نمونه نسبت به این منحنی واسنجی تعیین می‌شود. اندازه‌گیری هائی از این نوع معمولاً در فاز مایع انجام می‌شود، زیرا نمونه‌های استاندارد رنگدانه نورتاب ممکن است به سادگی به صورت محلول‌های مایع با غلظت‌های مشخص تولید شوند.

۲-۵ وسایل

۱-۲-۵ ملزومات و تجهیزات آزمون

تجهیزات و وسایل مورد نیاز برای اندازه‌گیری‌های نسبی کارائی کوانتومی باید شامل موارد زیر می‌باشد:

۱-۱-۲-۵ کووت کوارتز استاندارد آزمون نورتابی با طول مسیر مشخص

در این روش استاندارد فرض بر این است که سل‌ها با طول مسیر ۱۰ میلی‌متر استفاده شوند. اگر اندازه‌های متفاوتی از سل‌ها استفاده شود، ممکن است تنظیمات مناسبی در حجم محلول‌ها مورد نیاز باشد. یادآوری - تمیز کاری ناقص سل‌های آزمون ممکن است باعث باقی ماندن آلودگی هائی شود که می‌تواند اثرات منفی روی اندازه‌گیری‌های کارائی کوانتومی بگذارد. روش مطلوب اسید شوئی تمام سل‌های کوارتزی قبل از استفاده، برای اطمینان از حذف تمام نقاط کوانتومی باقیمانده از سل‌ها قبل از انجام آزمون‌ها، الزامی می‌باشد.

۲-۱-۲-۵ ترازوی با دقت میکروگرم^۱

۳-۱-۲-۵ میکروسرنگ

۴-۱-۲-۵ طیف سنج نوری با قابلیت گذردهی نوری نفوذی که جذب را در ناحیه طیفی دلخواهی اندازه‌گیری می‌کند (به طور معمول نواحی مرئی و فرا بنفش (UV-Vis)). واسنجی طول موجی طیف سنج نوری باید حداقل سالی یک‌بار، با استفاده از یک منبع نوری با طول موج‌های گسیلی مشخص، مانند یک منبع واسنجی آرگون جیوه تأیید شود.

۵-۱-۲-۵ طیف سنج نوری فلورسانسی با قابلیت تولید تابش تحریکی در ناحیه طول موجی دلخواه (مرئی-فرا بنفش) و اندازه‌گیری تابش تحریک و گسیل شده. اطلاعات تکمیلی در مورد چیدمان و واسنجی طیف سنج‌های نوری فلورسانسی را می‌توان در منابع [۴ و ۵ و ۶ و ۷ و ۹ و ۱۳] یافت. به‌طورنمونه تابش تحریکی توسط یک لامپ تخلیه، تک‌رنگ شده به وسیله یک روزنه قابل تنظیم در خروجی تک‌رنگ‌ساز به منظور کنترل حداکثر مقدار پهنای کامل در نیم بیشینه (FWHM) تولید می‌شود. تابش گسیل شده از نمونه از ادوات نوری دیگری مانند یک روزنه تابشی و تک‌رنگ‌ساز عبور کرده و سپس به آشکارساز (مانند لوله تکثیر

¹ Microgram

کننده فوتونی) برخورد می‌کند. یک فایل واسنجی برای پاسخ طیفی تک‌رنگ‌ساز تابشی و آشکارساز مورد نیاز بوده و باید توسط سازنده تجهیزات یا بر اساس یک منبع نوری واسنجی شده تهیه شود.

۵-۲-۲-۲-۵ چیدمان تجهیزات آزمون

۵-۲-۲-۱-۲-۵ طیف سنج نوری مرئی و فرا بنفش (UV-Vis)

چیدمان طیف سنج نوری مرئی-فرا بنفش باید به منظور روبش ناحیه طیفی مورد نظر که به طور مشخص از ۳۰۰ نانومتر تا ۸۰۰ نانومتر می‌باشد، استفاده شود. متغیرهای داده برداری برای طیف سنجی نوری برای دستیابی به نسبت سیگنال به نوفه بهینه باید تنظیم شود. برای مثال حداقل جذب باید در ۰/۰۵- و بیشینه جذب در ۱ تنظیم شود.

۵-۲-۲-۲-۵ طیف سنج نوری فلورسانسی

در اندازه‌گیری فلورسانس نمونه با یک طیف سنج نوری فلورسانسی، تعیین طول موج تحریک و طول موج‌های ابتدایی و انتهایی جهت داده برداری طیف تابشی، ضروری است. در انتخاب این طول موج‌ها باید ملاحظات برای به حداقل رساندن ناحیه هم پوشانی بین لبه قرمز طیف تحریک و لبه آبی طیف تابشی، جایی که باز جذب فلورسانس رخ می‌دهد، در نظر گرفته شوند. شواهد نشان‌دهنده آنست که چگالی نوری OD در ناحیه هم پوشانی به منظور به حداقل رساندن باز جذب یا اثرات فیلتر داخلی نوعاً از ۰/۰۵ نانومتر کمتر می‌باشد. به علاوه عرض شکاف در هر دو نوع تکرنگ سازهای تحریکی و گسیلی باید به یک مقدار تنظیم شوند (جدول یک را ببینید). در تعیین عرض شکاف، توازن بین شدت سیگنال و توان تفکیک قله وجود دارد. توصیه می‌شود که عرض شکاف به کمترین مقداری که اثر مخربی در نسبت سیگنال به نوفه نداشته باشد، تنظیم شود. با این وجود، شرایط طیفی میان گذر (یعنی عرض شکاف ضریب معکوس پاشندگی خطی تک‌رنگ‌ساز) برای اندازه‌گیری نمونه و ماده مرجع، باید بدون تغییر باقی بماند. دیگر خواص طیف سنج نوری مانند ولتاژ لوله تکثیر کننده فوتونی^۱ (PMT)، باید برای اندازه‌گیری نمونه و مواد مرجع، یکسان باشد.

از آنجایی که اندازه‌گیری‌های فلورسانسی نوعاً روی ناحیه طیفی باریک تری در مقایسه با اندازه‌گیری‌های جذب انجام می‌شود، پروتکل‌های مختلف داده برداری از پیش تعیین شده که می‌تواند در دستگاه‌های بسیاری برنامه ریزی شوند، مورد استفاده قرار گیرند. مقادیر نمونه از سه روش «روش QY سبز»، «روش QY قرمز-بالا»، و «روش QY قرمز-پائین» در جدول یک ارائه شده است. در این مثال QY بر کارایی کوانتومی دلالت دارد. روش‌های متفاوتی (و استانداردهای ماده فلورسانت مربوط) برای دیگر نواحی طیفی مد نظر مورد نیاز خواهد بود.

^۱ Photomultiplier Tube

جدول ۱- روش‌های فلورسانسی نمونه برای اندازه‌گیری‌های نسبی

روش QY قرمز-QY پائین	روش QY قرمز-QY-بالا	روش QY سبز	
۵۳۰ نانومتر	۵۴۰ نانومتر	۴۶۵ نانومتر	تحریک
۵۴۰ نانومتر	۵۴۵ نانومتر	۴۷۰ نانومتر	شروع داده برداری
۸۵۰ نانومتر	۸۰۰ نانومتر	۷۰۰ نانومتر	پایان داده برداری
۲/۵ نانومتر	۲/۵ نانومتر	۲/۵ نانومتر	شکاف تحریک
۲/۵ نانومتر	۲/۵ نانومتر	۲/۵ نانومتر	شکاف تابش
بالا	متوسط	متوسط	ولتاژ آشکارساز PMT

۳-۵ کالیبراسیون

۱-۳-۵ کلیات

مواد فلورسنت با کارائی‌های کوانتومی که به خوبی مشخصه‌یابی شده، باید به عنوان استانداردهای واسنجی برای اندازه‌گیری‌های نسبی کارائی‌های کوانتومی نمونه‌های محلول، استفاده شوند. در انتخاب یک ماده مرجع، مهم است که طول موج تحریک ماده مرجع، شبیه به طول موج تحریک مورد انتظار نمونه در کاربرد مد نظر باشد. هم چنین مهم است که کارائی کوانتومی ماده مرجع استفاده شده در اندازه‌گیری‌های کارائی کوانتومی نسبی، برابر یا بزرگتر از مقادیر مورد انتظار برای نمونه‌های تحت آزمون باشد. برای کاربردهای SSL، طول موج تحریک اغلب بین ۴۴۰ نانومتر و ۴۷۰ نانومتر قرار می‌گیرد، گرچه دیگر طول موج‌های تحریک نیز ممکن است استفاده شود. طول موج گسیل استاندارد باید مشابه طول موج گسیل نمونه نانو ماده نورتاب باشد. فهرستی از مواد مرجع قابل استفاده ممکن است در [۸] و دیگر منابع پیدا شود. بسته به ناحیه طیفی مورد نظر ممکن است چندین ماده فلورسنت برای انجام واسنجی صحیح مورد نیاز باشند. مثال‌هایی از استانداردهای ممکن واسنجی کارائی کوانتومی برای اندازه‌گیری‌های نسبی در جدول ۲ تهیه شده‌است. استانداردهای واسنجی، دیگر طول موج‌های مورد نظر را در [۸] می‌توان یافت.

جدول ۲- استانداردهای واسنجی پیشنهادی برای اندازه‌گیری کارائی کوانتومی نسبی محلول‌های نانوذره نورتاب

مرجع	کارائی کوانتومی	روش مورد استفاده	محدوده طول موج گسیل (نانومتر)	طول موج تحریک (نانومتر)	حلال	استاندارد فلورسنت
۱۰	۰/۹۲	سبز	۴۷۰-۷۰۰	۴۶۵	اتانول	رودامین ۵۶۰
۱۱،۸	۰/۵۴	قرمز	۵۴۰-۷۰۰	۵۴۰	متانول	کروزیل بنفش
۸،۱۲	۱	سبز، قرمز	۴۵۰-۷۵۰	۴۶۵، ۵۴۰	اتانول	رودامین ۱۰۱

۲-۳-۵ استاندارد کالیبراسیون - آماده سازی

۱-۲-۳-۵ محلول اولیه غلیظ

با استفاده از یک ترازوی دقیق، تقریباً ۲ میلی گرم از ماده استاندارد واسنجی فلورسانت را وزن کرده، در یک شیشه کوچک ۲۰ میلی لیتری بریزید. رنگدانه را در ۱۰ میلی لیتر حلال مناسب به منظور ایجاد یک محلول اولیه غلیظ استاندارد واسنجی، حل کنید.

۲-۲-۳-۵ محلول اولیه رقیق

از محلول اولیه غلیظ، ۲ میلی لیتر توسط سرنگ بردارید و در یک شیشه کوچک ۲۰ میلی لیتری بریزید. محلول را با اضافه کردن ۸ میلی لیتر حلال اصلی به منظور ایجاد محلول اولیه رقیق استاندارد واسنجی، رقیق کنید.

۳-۳-۵ استاندارد کالیبراسیون - اندازه‌گیری‌های آزمون

۱-۳-۳-۵ اندازه‌گیری اولیه

۲/۵ میلی لیتر حلال را در یک کووت کوارتزی بریزید. یک خط زمینه به وسیله طیف سنج نوری مرئی-فرا بنفش را اجرا کنید.

به وسیله یک میکروسرنگ، ۱۰۰ میکرولیتر محلول اولیه رقیق استاندارد واسنجی را داخل سل ریخته و به خوبی هم بزنید.

اندازه‌گیری جذب به وسیله طیف سنج نوری مرئی-فرا بنفش انجام داده و چگالی نوری (OD) در طول موج تحریک انتخابی را یادداشت کنید.

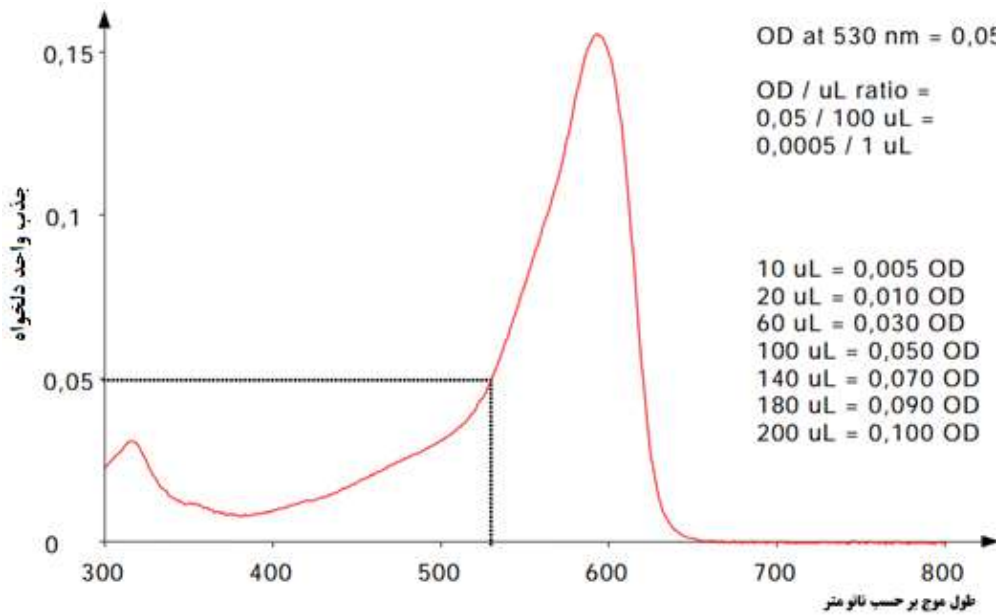
۲-۳-۳-۵ اندازه‌گیری‌های غلظت بیشینه

به منظور محاسبه نسبت محلول اولیه $OD/\mu l$ ، چگالی نوری ثبت شده را بر ۱۰۰ تقسیم کنید. با داشتن این مقدار (عدد)، محلول کووت کوارتزی را تا رسیدن به نقطه‌ای که OD در طول موج تحریک ۰/۰۵ گردد، غلیظ یا رقیق کنید (شکل یک را ببینید).

این محاسبه را با انجام یک آزمون جذب توسط طیف سنج نوری، بررسی کنید. با استفاده از روش‌های توصیف شده در زیربند ۲-۲-۲-۵، یک اندازه‌گیری به وسیله طیف سنج نوری فلورسانس انجام دهید. این روش شما را از این که غلظت بیشینه منجر به یک پاسخ غیر خطی، مانند اشباع،

در آشکارساز طیف سنج نوری فلورسانس ایجاد نمی‌شود، مطمئن می‌سازد. اگر چنین مسأله‌ای رخ دهد، باید متغیرهای روش تنظیم گردد.

در این شکل ۱۰۰ میکرو لیتر محلول اولیه رقیق، ۲/۵ میلی لیتر متانول استفاده شده و طول موج تحریکی ۵۳۰ نانومتر انتخاب شده‌است.



شکل ۱- طیف جذبی نمونه کریزیل بنفش - محاسبات نمونه

۴-۵ فرایند تجربی

۱-۴-۵ استاندارد واسنجی - اندازه‌گیری‌های تجربی

۱-۱-۴-۵ به دست آوردن یک خط زمینه

۲/۵ میلی لیتر از حلال مورد استفاده برای مواد مرجع استاندارد را در سل کوارتز بریزید. خط زمینه را در طیف سنج نوری UV-Vis اندازه‌گیری کنید.

۲-۱-۴-۵ اندازه‌گیری غلظت‌های گوناگون

با استفاده از نسبت محلول اولیه OD/ μl که در زیر بند ۲-۳-۳-۵ توضیح داده شد، حجم (به μl) محلول اولیه رقیق شده‌است اندارد مورد نیاز برای بدست آوردن جذب ۰/۰۱، ۰/۰۰۳، ۰/۰۰۵، ۰/۰۰۱، ۰/۰۰۳ و ۰/۰۰۵ در طول موج تحریک را محاسبه کنید (شکل ۱ را ببینید). این جذب‌ها و مجموع شدت‌های گسیل مربوط جهت ایجاد منحنی واسنجی به منظور تعیین کارائی کوانتومی نسبی، استفاده خواهد شد.

یادآوری- OD (یعنی جذب) به دلیل رفتار غیرخطی در قانون بیر لامبرت شامل اثرات جذب مجدد مربوط به غلظت‌های بالاتر، از ۰/۰۵ بالاتر نرود.

مقدار مناسبی از محلول اولیه رقیق شده را به سل حاوی حلال اضافه کرده و طیف جذبی آن را در طیف سنج‌های نوری فلورسانس و مرئی-فرا بنفش UV-Vis اندازه‌گیری کنید.

برای بار دوم مقدار مناسب دیگری از محلول اولیه را به سل اضافه کنید.

اندازه‌گیری‌ها را برای هر مقدار اضافی محلول اولیه استاندارد اضافه شده، تکرار کنید.

۳-۱-۴-۵ اصلاح داده‌ها

برای اطمینان از تجزیه و تحلیل صحیح داده‌ها، همه داده‌های مربوط به طیف‌های گسیل را که توسط طیف سنج نوری فلورسانس ثبت شده را باز کنید و هر کدام را در فایل لامپ اصلاح^۱ که توسط منبع تابش نوری واسنجی شده، بدست آمده است، ضرب کنید. فایل لامپ اصلاح متناظر با پاسخ آشکارساز طیف سنج نوری، بعنوان تابعی از طول موج است. این فایل باید توسط تولیدکننده یا سازنده دستگاه تهیه شده باشد و یا برای یک طیف سنج نوری داده شده، با استفاده از منبع تابش نوری واسنجی شده، به کمک لامپ هالوژن تنگستن تهیه شود. همان‌طور که در [۹] توضیح داده شده است، دیگر روش‌های واسنجی مانند آشکارسازهای مرجع واسنجی شده، نیز ممکن است مورد استفاده قرار بگیرند. در این موارد، باید اصلاحات واسنجی مناسب اعمال شود.

هر طیف اصلاح شده را در یک فرمت صفحه گسترده اکسل ذخیره کنید. کل سطح زیر منحنی را در محدوده قله گسیل اصلاح شده محاسبه کنید.

۴-۱-۴-۵ ورودی داده و رسم منحنی واسنجی

یادآوری- فرمت شرح داده شده براساس استفاده از مایکروسافت اکسل می‌باشد.

با استفاده از نرم افزار صفحه گسترده اکسل، ستون هائی را به جذب (در طول موج تحریک مناسب) و مجموع شدت فلورسانس، اختصاص دهید. تمام داده‌های جمع آوری شده از اندازه‌گیری‌ها را وارد کنید.

داده‌های مربوط به استاندارد مرجع فلورسنت را به صورت جذب روی محور X ها و مجموع شدت فلورسانس را روی محور Y ها، رسم کنید.

¹ Correction lamp

یک خط روند بر اساس برازش خطی از طریق داده ها، و با صفر قرار دادن محل تقاطع با محورها، ایجاد کنید. معادله منحنی و مقدار ضریب تعیین (R-squared) را در نمودار نشان دهید. این نمودار، منحنی واسنجی مربوط به یک استاندارد مرجع فلورسنت خاص بوده و نمودارهای مشابهی باید برای هر استاندارد تکرار شود. شیب این نمودار در تعیین کارائی کوانتومی نسبی محلول نانو ذره نورتاب استفاده خواهد شد. از طریق بررسی مقادیر شیب ثبت شده قبلی در یک استاندارد معین، مقادیر میانگین و انحرافات استاندارد را محاسبه کنید. شیب حاصل از برازش خطی فعلی را با مقادیر گزارش شده قبلی مقایسه کنید و سپس تعیین کنید که مقادیر جدید با میانگین مقادیر قبلی بیش از سه برابر مقدار انحراف استاندارد، متفاوت نباشد. اگر این مقدار بیش از سه برابر مقدار انحراف استاندارد از میانگین مقادیر قبلی بیشتر باشد، مراحل واسنجی باید تکرار شود.

برای مقایسه مقادیر شیب ماده مرجع استاندارد واسنجی، روش‌های ارائه شده برای جمع آوری داده‌ها باید یکسان باشند- این یکسان سازی شامل طول موج تحریک، عرض شکاف، نقاط شروع و پایان داده برداری، ولتاژ آشکارسازی PMT و استاندارد مرجع فلورسنت کارائی کوانتومی مورد استفاده، می‌باشد.

طبق قوانین کنترل فرایند آماری استاندارد، یک انحراف بزرگتر از سه برابر مقدار انحراف استاندارد نشان می‌دهد که طیف سنج نوری خارج از کنترل است. علت خارج شدن از وضعیت کنترل باید بیشتر بررسی شود و اقدامات اصلاحی انجام گیرد.

۵-۴-۲ نمونه نانوذرات نورتاب- اندازه‌گیری‌های تجربی

۵-۴-۲-۱ بدست آوردن یک خط زمینه

۲/۵ میلی لیتر از حلال مورد استفاده برای نمونه نانوذرات نورتاب را در سل کوارتز بریزید. خط زمینه را در طیف نوری UV-Vis اندازه بگیرید.

۵-۴-۲-۲ اندازه‌گیری نمونه- اندازه‌گیری تک نقطه

جذب نمونه نانوذرات را با استفاده از طیف سنج نوری UV-Vis اندازه‌گیری کنید. اگر جذب نمونه در طول موج تحریک مورد نظر از ۰/۰۵ بیشتر شد، با حلال اضافی آن را رقیق کرده تا جذب به زیر ۰/۰۵ برسد. محدوده OD بهینه برای نمونه بین ۰/۰۳ و ۰/۰۵ می‌باشد.

جذب نمونه محلول را با استفاده از طیف سنج نوری UV-Vis ثبت کنید و طیف گسیل را در طیف سنج نوری فلورسانس اندازه بگیرید. در صورت لزوم تمام اصلاحات داده را اعمال کنید (طبق زیر بند ۳-۱-۴-۵) و

سطح زیر منحنی در محدوده قله گسیل اصلاح شده را محاسبه کنید (طبق زیر بند ۴-۵-۱-۴). در صورت لزوم این مراحل را برای سایر نمونه‌ها تکرار کنید.

۴-۲-۳-۵ محاسبه کارائی کوانتومی - اندازه‌گیری تک نقطه

کارائی کوانتومی نانوذرات نورتاب براساس فرمت جدول ۳ در صفحات گسترده اکسل محاسبه شده است .

جدول ۳- فرمت صفحه گسترده اکسل برای مقایسه داده‌های کارائی کوانتومی

D	C	B	A
محاسبه کارائی کوانتومی	شیب ماده مرجع استاندارد (به عنوان مثال، رنگ‌دانه)	مجموع شدت‌های فلورسانس اصلاح شده	جذب نمونه در _ نانومتر

داده‌ها را در ستون‌های A و B وارد کنید. برای ستون C، شیب محاسبه شده از طریق اندازه‌گیری‌های منحنی واسنجی رنگ‌دانه فلورسنت استاندارد را وارد کنید (طبق زیربند ۴-۵-۱-۴). برای ستون D، فرمول زیر را وارد کنید:

$$D_i = (QE \text{ استاندارد} * B_i * (\text{ضریب شکست نمونه})^2) / (A_i * C_i * (\text{ضریب شکست نمونه})^2)$$

که در آن:

A_i, B_i, C_i, D_i برابر با ورودی‌های خانه‌های صفحه گسترده به ترتیب برای ستون‌های A، B، C، D، و شماره ردیف i (i مساوی ۱ و ۲ و ۳ و ...)؛

استاندارد QE = کارائی کوانتومی ماده مرجع استاندارد واسنجی استفاده شده؛

ضریب شکست نمونه = ضریب شکست حلال استفاده شده در نمونه می‌باشد.

ضریب شکست استاندارد = ضریب شکست حلال استفاده شده برای حل کردن رنگ‌دانه استاندارد می‌باشد.

صفحه گسترده اکسل کارائی کوانتومی را به وسیله مقایسه با سایر استانداردهای فلورسنت رنگ‌دانه‌های استاندارد واسنجی با کارائی کوانتومی شناخته شده، می‌سازد.

روش‌های مورد استفاده در جمع آوری داده ها، هم در مورد رنگ‌دانه استاندارد و هم نانوذرات نورتاب باید یکسان باشند. این یکسان سازی شامل طول موج تحریک، عرض شکاف، نقاط شروع و پایان داده برداری و ولتاژ آشکارساز PMT می‌باشد.

۵-۴-۲-۴-۵ اندازه‌گیری نمونه - برازش خطی کامل

روش تشریح شده در زیر بند ۲-۲-۴-۵ را روی همان محدوده OD مورد استفاده در تولید داده‌های استاندارد واسنجی، تکرار می‌کنیم (مثلاً ۰/۰۱، ۰/۰۳، ۰/۰۵، ۰/۰۱، ۰/۰۳، ۰/۰۵ و ۰/۰۵ OD؛ طبق زیر بند ۲-۱-۴-۵). برای هر نمونه، جذب را با استفاده از طیف سنج نوری UV-Vis ثبت کرده و طیف گسیل را در طیف سنج نوری فلورسانس اندازه‌گیری کنید. در صورت لزوم تمام اصلاحات داده را اعمال کنید (طبق زیر بند ۳-۱-۴-۵) و کل سطح زیر منحنی در محدوده قله گسیل اصلاح شده را محاسبه کنید (طبق زیر بند ۴-۱-۴). در صورت لزوم، این روش را برای نمونه‌های دیگر نانوذرات، تکرار کنید.

۵-۲-۴-۵ محاسبه کارایی کوانتومی - برازش خطی کامل

با استفاده از نرم افزار صفحه گسترده اکسل، ستون‌ها را به جذب (در طول موج تحریک مناسب) و مجموع سیگنال فلورسانس، به‌طورنوعی در واحد شمارش درهرثانیه یا واحدهای معادل، اختصاص دهید. تمام داده‌های جمع آوری شده از اندازه‌گیری‌ها را وارد کنید.

یادآوری - فرمت شرح داده شده بر اساس استفاده از مایکروسافت اکسل است.

داده‌های نانوذرات را به‌صورت جذب بر روی محور X و شدت فلورسانس مجتمع روی محور Y، رسم کنید.

یک خط روند بر اساس برازش خطی را از روی داده‌ها ایجاد کنید و محل تلاقی آن را با صفر مشخص کنید و معادله منحنی و مقدار ضریب تعیین (R-squared) را روی نمودار نشان دهید. شیب این نمودار برای محاسبه کارایی کوانتومی نسبی محلول نانوذرات نورتاب مورد استفاده قرار خواهد گرفت (همانطور که در جدول ۴ نشان داده شده است).

جدول ۴- قالب صفحه گسترده اکسل برای مقایسه داده‌های کارایی کوانتومی

C	B	A
کارایی کوانتومی محلول نانوذرات	شیب ماده مرجع استاندارد (به عنوان مثال، رنگ‌دانه)	به عنوان (QD) شیب نمونه نانوذرات (مثال،)

داده مربوط به ستون A و B را وارد کنید. برای ستون C، فرمول زیر را وارد کنید:

$$C_i = QE \text{ استاندارد} * (A_i / B_i) * (\text{ضریب شکست نمونه})^2 / (\text{ضریب شکست استاندارد})^2$$

که در آن:

A_i, B_i, C_i برابر با ورودی‌ها در خانه‌های صفحه گسترده اکسل به ترتیب برای ستون C، B، A، و شماره سطر i (۱ و ۲ و ۳ و ...)؛

QE استاندارد، برابر با کارایی کوانتومی ماده مرجع استاندارد واسنجی استفاده شده؛

ضریب شکست نمونه برابر با ضریب شکست حلال استفاده شده در نمونه؛

ضریب شکست استاندارد برابر با ضریب شکست حلال استفاده شده برای حل رنگ‌دانه استاندارد می‌باشد.

روش‌های استفاده شده در جمع‌آوری داده‌ها هم در مورد رنگ‌دانه‌های استاندارد و هم نانوذرات نورتاب باید یکسان باشد. این شامل طول موج تحریک، عرض شکاف، نقاط شروع و پایان داده برداری و ولتاژ آشکارساز PMT می‌باشد.

۶ اندازه‌گیری کارایی کوانتومی مطلق نانو مواد

۶-۱ کلیات

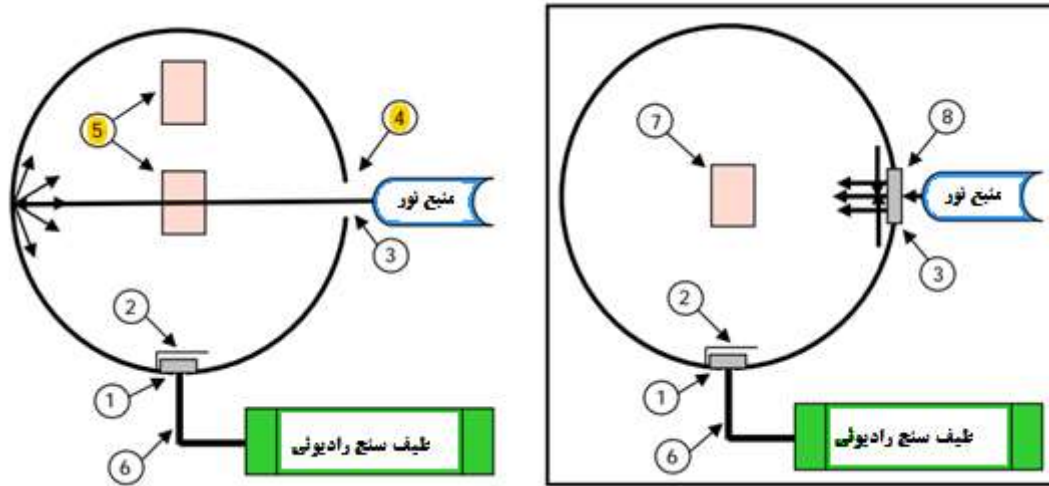
تکنیک‌های اندازه‌گیری مطلق، کارایی کوانتومی را براساس استانداردهای پایه‌ای جرم، زمان و فاصله تعیین می‌کنند. استانداردهای مرجع قابل ردیابی به واحدهای SI پایه یا مشتق شده (به عنوان مثال، مواد مرجع استاندارد قابل ردیابی NIST) نوعاً برای واسنجی اندازه‌گیری‌های مطلق، مورد استفاده قرار می‌گیرند. این نوع اندازه‌گیری می‌تواند هم بر روی نمونه‌های جامد و هم مایع انجام شود.

دو روش برای اندازه‌گیری کارایی کوانتومی مطلق نانو مواد نورتاب در این استاندارد توضیح داده شده‌است. روش نور تابشی موازی که در زیر بند ۶-۵-۱ توضیح داده شده‌است، هر چند روش نور تابشی پخشی در زیر بند ۶-۵-۲ شرح داده شده‌است. مقایسه دو روش در جدول ۵ ارائه شده‌است.

جدول ۵- مقایسه روش‌های اندازه‌گیری کارایی کوانتومی مطلق در نانوذرات نورتاب

نور تابشی موازی	نور تابشی پخشی	
شکل ۲ و ۶-۲ را ببینید	شکل ۲ و ۶-۲ را ببینید	تجهیزات مورد نیاز
۳	۲	تعداد اندازه‌گیری‌ها
شار فوتونی (۱/s)	(W/nm) شار تابشی طیفی	مقادیر استفاده شده در محاسبات
بیش‌ترین	خوب	دقت
خوب	سریع‌ترین	سرعت

اندازه‌گیری‌های کارائی کوانتومی مطلق هردونمونه جامد و مایع، می‌توانند با استفاده از روش نور تابشی موازی یا روش نور تابشی پخشی انجام شوند. تجهیزات مورد نیاز برای هر دو روش بسیار شبیه به هم است و چیدمان آزمونگاهی در شکل ۲ نشان داده شده‌است .



روش نور تابشی موازی

روش نور تابشی پخشی

شکل ۲- طرحواره چیدمان تجهیزات آزمون برای هر دو روش نور تابشی موازی و پخشی

راهنما

(۱) درگاه ۱

(۲) مانع نوری

(۳) درگاه ۲

(۴) روزنه

(۵) نگهدارنده نمونه قابل جابجائی

(۶) کابل فیبر نوری

(۷) نمونه

(۸) پخش کننده نوری

۶-۲- تجهیزات آزمون

۶-۲-۱ یک کره یکپارچه که داخل آن با ماده‌ای با انعکاس پخشی بیشتر از ۹۵٪ پوشیده شده است. درانتخاب کره یکپارچه برای انجام این آزمونات، لازم است کره‌ای با اندازه مناسب به گونه‌ای که پخش نوری یکنواختی ایجاد کند، انتخاب شود. به طور نمونه این عمل نیازمند آن است، که قطره کره حداقل سه برابر، بیشتر از بزرگترین بعد نمونه مورد آزمون باشد. عموماً انتخاب یک کره بزرگتر نسبت به یک کره کوچکتر توصیه می‌شود، گرچه، اگر کره بیش از حد بزرگ باشد، ممکن است سبب کاهش ناخواسته تابش برخوردی به آشکارساز گردد. در بیشتر موارد، یک کره با قطر ۱۰ سانتی متر یا بزرگتر کافی است. کره باید شامل نگهدارنده نمونه قابل جابجائی و حداقل دو درگاه قطری باشد. درانتخاب اندازه این درگاه‌ها، مهم است که بیش از ۵٪ کل سطح کره با این درگاه‌ها پوشیده نشود. دستورالعمل‌های مربوط به ابعاد کره و اندازه درگاه را می‌توان در منبع [۱۴] کتابنامه یافت.

نگهدارنده نمونه، نمونه را درون کره قرار می‌دهد و با همان ماده بازتابنده بسیار پخش کننده که در کره استفاده شده است، پوشش داده می‌شود. برای روش نور تابشی موازی، نگه دارنده نمونه باید اجازه دهد که نمونه بتواند به داخل و خارج از مسیر پرتو نوری تابشی موازی حرکت کند. در روش نور تابشی پخشی، از آنجایی که تابش تنها از طریق یک منبع پخشی صورت می‌گیرد، نیازی به حرکت دادن نمونه به داخل و خارج از مسیر پرتو نور تابشی نمی‌باشد. آشکارساز و درگاه‌های منبع نوری باید الزامات زیر را دارا باشند:

۶-۲-۲ درگاه آشکارساز (درگاه ۱ در شکل ۲) باید یک مانع نوری با اندازه مناسب داشته باشد تا مانع تابش مستقیم منبع نور به آشکارساز گردد. این درگاه با یک مبدل ولتاژ (به طور نمونه یک اتصال SMA) که با کابل فیبر نوری خارج از کره جفت شده، پوشیده شده است. درجلوی مبدل ولتاژ یک پخش کننده نوری بسیار شفاف با مشخصات نزدیک به لامبرتین، جهت اطمینان از جمع آوری زاویه گسترده نور، قرار داده شده است. درگاه منبع نور تحریک (درگاه ۲ در شکل ۲) باید شامل یک روزنه کوچک باشد (مثلاً کمتر از ۱/۲۷ سانتی متر) که از طریق آن نور از منبع تحریک وارد می‌شود. برای روش نور تابشی موازی، منبع نور به طور مستقیم از طریق این روزنه بدون تغییرات اضافی وارد می‌شود. برای روش نور تابشی پخشی، یک پخش کننده نور بسیار شفاف با مشخصات نزدیک به لامبرتین روی روزنه برای پخش منبع نور تحریک ورودی به کره، قرار گرفته است.

۳-۲-۶ طیف سنج تابشی قادر به اندازه‌گیری دقیق شدت نور تابش روی طول موج‌های مورد نظر، که به طور معمول بین ۳۵۰ نانومتر تا ۹۰۰ نانومتر است، می‌باشد. طیف سنج تابشی شامل یک توری پلکانی^۱ به منظور فراهم نمودن آشکارسازی بهینه در محدوده طول موج مطلوب می‌باشد. اجزاء نوری مختلفی مانند عدسی‌ها و فیلترها ممکن است در طیف سنج تابشی به منظور افزایش بهره‌وری جمع‌آوری نور و کاهش نور هرز، به کار روند. طیف سنج تابشی به یک کره یکپارچه در درگاه ۱ از طریق کابل فیبر نوری خارجی متصل شده است. واسنجی طول موج طیف سنج تابشی حداقل به صورت سالانه با استفاده از یک منبع نور با طول موج تابشی به خوبی مشخصه‌یابی شده، مانند منبع واسنجی آرگون جیوه، اعتبار سنجی شود.

استفاده از یک کابل فیبرنوری، روش اندازه‌گیری مرجحی برای تزویج طیف سنج به کره یکپارچه می‌باشد. با این حال، درموردی که نسبت سیگنال به نوفه قابل قبول است، قطعات اپتیکی متمرکز کننده‌ای با عدد اف^۲ تطبیق داده شده با تکفام‌ساز موجود بر روی طیف سنج تابشی، ممکن است در درگاه ۱ به جای کابل فیبر نوری استفاده شوند. این تغییر در فرایند آزمون باید به وضوح در گزارش آزمون بیان گردد.

۴-۲-۶ منبع نور باند باریک از یکی از موارد زیر انتخاب می‌گردد.

۱-۴-۲-۶ لیزر: منبع مطلوب، با ساده‌ترین نحوه کنترل طول موج، عرض طیفی (FWHM) و شکل پرتو (پرتو باریک موازی) می‌باشد. این منبع نور خروجی مناسبی (به ویژه در روش برخورد موازی که در ۶-۵-۱ شرح داده شد) را تابش می‌کند و ثبات خروجی آن می‌تواند با دقت بالا، توسط دما و جریان کنترل شود. خروجی می‌تواند پالس یا موج پیوسته (CW) باشد. به طور نوعی، پالس دهی موجب ایجاد نوفه ناشی از تغییرات شدت نور بین پالسهای مجاور می‌شود که میزان آن بستگی به نوع لیزر و روش ایجاد پالس دارد. روش موج پیوسته می‌تواند برای بهبود نسبت سیگنال به نوفه، مدوله شود.

۲-۴-۲-۶ LED ها: LED به دلیل هزینه کم و امکان انتخاب طول موج و شدت نور، منبع مناسبی است (هم چنین عرض طیفی آن بستگی به منبع مورد استفاده دارد). این منبع نسبتاً برای انتقال نور در روش تابش موازی مشکل‌تر است، اما برای روش نور تابش پخشی بسیار مناسب می‌باشد. برای عملکرد قابل اطمینان، این منبع به کنترل خوبی بر روی درجه حرارت و جریان/ولتاژ، نیاز دارد. هم چنین باید به عرض طیف‌های گسیل LED توجه داشته باشیم و مراقب باشیم که گسیل LED با طیف‌های گسیل نمونه مورد بررسی، هم‌پوشانی نداشته باشد.

¹ Blazed grating

² F-number

۳-۴-۲-۶ لامپ‌های تخلیه تک فام: این لامپ‌ها هنوز هم یک گزینه قابل اعتماد به خوبی آزمون شده و گسترده می‌باشند. با این حال، استفاده از آنها تا حدودی پیچیده است، زیرا شدت آنها در هر بازه طیفی، می‌تواند به این دلیل که باند گذر باریک، خروجی تک فام ساز را کاهش می‌دهد، نسبتاً کم باشد. به علاوه شدت نور توسط عدد اف محدود تجهیز، کاهش می‌یابد و پرتو نوری موازی نمی‌شود. این منبع برای روش نور تابشی پخشی مناسب تر است. علاوه بر این، این منبع ممکن است که در خصوص ثبات خروجی با مشکلاتی مواجه شود (در هر دو حالت پالسی و سیگنال پیوسته).

۵-۲-۶ منبع نور کالیبره شده (به عنوان مثال شار تابش طیفی یا استاندارد تابش) برای استفاده در یک کره یکپارچه، واسنجی شده است. خروجی منبع نور واسنجی شده قبلاً با استفاده از استانداردهای قابل ردیابی مشخص شده و فایل واسنجی ایجاد شده است. واسنجی بر اساس روش مندرج در ۳-۶ انجام می‌شود.

۶-۲-۶ رایانه برای جمع آوری و تجزیه و تحلیل داده ها.

۷-۲-۶ لوازم جانبی انتخابی شامل فیلترهای نوری با باند گذر باریک به منظور کنترل شکل قله منبع تحریک، تطبیق دهنده‌ها برای منابع نور مختلف که قرار است با کره استفاده شوند، و درپوش‌های مسدود کننده برای درگاه‌های استفاده نشده در کره یکپارچه، می‌شوند.

یادآوری- مفاد عمومی در مورد گرم کردن نمونه و چگالی تحریک را در ضمیمه A ببینید.

۳-۶ کالیبراسیون

فرایند واسنجی برای اندازه‌گیری‌های مطلق نانو ذرات نورتاب، مستلزم آن است که تمام اجزاء تجهیزات آزمون استفاده شده در اندازه‌گیری، به طور هم‌زمان به عنوان یک سامانه واسنجی شوند. این سامانه شامل کره یکپارچه، نگهدارنده نمونه، طیف سنج، کابل فیبر نوری و سایر اجزاء می‌باشند.

به منظور واسنجی دقیق تجهیزات آزمون، باید از یک منبع نور واسنجی شده، استفاده شود. به طور نوعی، منبع نور واسنجی شده یک رشته تنگستن با دمای رنگ همبسته تقریباً 3000 K می‌باشد و محدوده طول موج ۳۵۰ نانومتر تا ۲۰۰۰ نانومتر را پوشش می‌دهد. برای طول موج‌های خارج از این محدوده، لامپ‌های استاندارد دیگری مانند لامپ دوتریوم (۲۰۰ نانومتر تا ۴۰۰ نانومتر) باید استفاده شود. نور منبع واسنجی شده می‌تواند از دو طریق، یکی روزنه در درگاه ۲ یا از طریق یک نگه دارنده خاصی که به درگاه ۲ وصل می‌شود، وارد کره شود.

یک فایل واسنجی حاوی شار تابشی طیفی استاندارد اندازه‌گیری شده (نوعاً بر حسب W/nm) نسبت به یک استاندارد قابل ردیابی برای واسنجی تجهیزات آزمون به صورت کلی مورد استفاده قرار می‌گیرد. نور منبع نور واسنجی شده وارد تجهیزات آزمون شده و شار تابشی طیفی ($\Phi_{\text{obs}}(\lambda)$) اندازه‌گیری می‌شود. به طور کلی، زمان داده پردازش طیف سنج رادیوئی برای به دست آوردن مقدار بیشینه $\Phi_{\text{obs}}(\lambda)$ ، به گونه‌ای تنظیم می‌شود که مانع ایجاد اشباع یا هر پاسخ غیر خطی دیگر آشکارساز بر روی طیف سنج رادیوئی، گردد. این امر ما را از بیشترین حساسیت در اندازه‌گیری واسنجی و هر اندازه‌گیری نمونه مطمئن می‌سازد.

شار تابشی طیفی مشاهده شده ($\Phi_{\text{obs}}(\lambda)$)، با فایل واسنجی در هر طول موج به منظور تولید یک ضریب اصلاح، $C(\lambda)$ ، مقایسه می‌شود. شار تابشی طیفی مطلق ($\Phi_{\text{ab}}(\lambda)$) استاندارد برای هر طول موج حاصل ضرب $C(\lambda)$ و $\Phi_{\text{obs}}(\lambda)$ است.

$$\Phi_{\text{ab}}(\lambda) = C(\lambda) \times \Phi_{\text{obs}}(\lambda) \quad (1)$$

ضریب‌های اصلاح ($C(\lambda)$) برای اصلاح مقادیر اندازه‌گیری شده تحت شرایط یکسان آزمون در نمونه‌های مختلف، استفاده می‌شود.

۴-۶ آماده‌سازی نمونه

۱-۴-۶ کلیات

اندازه‌گیری مطلق کارائی کوانتومی می‌تواند هم بر روی نمونه‌های محلول و هم جامد انجام شود. الزامات آماده‌سازی نمونه برای هر کدام، در این بند ذکر شده است.

۲-۴-۶ نمونه‌های مایع

۱-۲-۴-۶ محلول اولیه غلیظ

با استفاده از یک ترازو با دقت میکروگرم، مقدار دلخواه از نمونه را وزن کنید و با یک حلال مناسب رقیق کنید تا محلول غلیظ اولیه بدست آید.

۲-۲-۴-۶ محلول اولیه رقیق

۲ میلی‌لیتر از محلول اولیه غلیظ را با سرنگ در یک ظرف ۲۰ میلی‌لیتری قرار دهید. محلول را با ۸ میلی‌لیتر دیگر از حلال اصلی رقیق کنید.

برای اندازه‌گیری‌های مطلق در کره‌های یکپارچه، باید از کمترین حجم محلول ممکن استفاده کرد. به منظور فراهم نمودن شرایط مناسب برای اندازه‌گیری لازم است که غلظت ماده نورتاب مشخص شود.

۳-۴-۶ نمونه‌های حالت جامد

نمونه‌های حالت جامد را می‌توان با مخلوط کردن ماده نقطه کوانتومی (QD) و یا دیگر مواد نورتاب با یک ماده زمینه مورد نظر کاربر مانند سیلیکون/اپوکسی در یک نسبت وزنی مناسب و مهیا نمودن برای جامد شدن تحت شرایط کنترل شده، تهیه نمود. این مخلوط ممکن است با بسته بندی شفاف پوشانده شود تا از تخریب نانوذرات نورتاب توسط عناصر محیطی جلوگیری گردد. حجم نمونه به منظور اندازه‌گیری دقیق کارایی کوانتومی باید در محدوده مورد نظر انتخاب شود. در صورت لزوم، نمونه را می‌توان با مواد منعکس کننده پختی غیر نورتاب سفید مانند پودر سولفات باریم فشرده یا پودر پلی تترافلورواتیلن پخت شده، رقیق کرد. حجم نمونه و میزان رقیق شدن به غلظت نانوذرات نورتاب و هم چنین دامنه دینامیکی آشکارساز و اندازه کره مجتمع مورد استفاده، بستگی خواهد داشت.

یک پیکربندی احتمالی برای اندازه‌گیری نمونه‌های جامد این است، که قطره‌ای از QD پخت نشده و یا سایر ترکیبات نانوذرات نورتاب را در یک ماده زمینه آلی شفاف بین دو صفحه شیشه قرار دهید. فاصله‌اندازها را می‌توان برای جدانگه‌داشتن صفحات شیشه‌ای از همدیگر طی پخت‌های بعدی استفاده کرد.

۵-۶ روش آزمون

۱-۵-۶ روش نور تابشی موازی

روش نور تابشی موازی، یک اندازه‌گیری مطلق کارایی کوانتومی نانومواد نورتاب در مواد در هر دو فاز مایع یا جامد است. در این روش، یک پرتو نور موازی، به داخل کره مجتمع وارد می‌شود و به عنوان منبع تحریک اولیه استفاده می‌گردد. جزئیات بیشتر این روش آزمون را در جای دیگری می‌توان یافت [۱۵].

پس از کالیبراسیون تجهیزات آزمون، منبع نور واسنجی شده (به عنوان مثال شار تابشی طیفی استاندارد) با منبع نور تحریک دلخواه (به عنوان مثال، لیزر، LED یا لامپ تخلیه تک رنگ) همانطور که در شکل ۲ نشان داده شده‌است، جایگزین می‌شود. به منظور استفاده از این روش، پرتو خروجی منبع باید موازی شده باشد و از طریق روزنه درگاه ۲ به طور مستقیم به داخل کره مجتمع وارد شود. واگرایی پرتو باید به حداقل رسانده شود به طوری که اندازه پرتو ورودی به کره مجتمع و برخوردی به نمونه حداقل ۵۰٪ کوچکتر از خود نمونه باشد.

در روش نور تابشی موازی، نگه دارنده نمونه مورد استفاده در کره مجتمع باید توانایی حرکت نمونه به داخل و خارج مسیر مستقیم پرتو تابشی را همان طور که در شکل ۲ نشان داده شده است، داشته باشد. در این روش سه اندازه گیری مختلف برای هر نمونه انجام می شود.

آزمون الف: اندازه گیری پس زمینه بدون هیچ نمونه ای در کره مجتمع.

آزمون ب: نمونه در کره یکپارچه است، اما از مسیر نور موازی خارج می شود، به طوری که پرتو نور تابشی ابتدا به دیواره های کره یکپارچه برخورد کرده و تنها پرتوهای پخش شده به نمونه می رسند.

آزمون ج: نمونه در کره یکپارچه قرار گرفته، به طوری که پرتو نوری موازی به طور مستقیم نمونه را روشن می کند و نمونه طوری قرار گرفته است که هر نور بازتاب شده، به جای بازگشت به ورودی به دیواره های کره یکپارچه برخورد می کند.

در انجام روش نور تابشی موازی، ضروری است که تمامی محاسبات بر روی مقادیر در واحدهای متناسب با فوتون در هر ثانیه، انجام شود. اگر دستگاه طیف سنج متصل به کره مجتمع برای شار تابشی طیفی در واحد W/nm واسنجی شده باشد، این مقادیر می توانند به راحتی به یک شار فوتونی (در واحد ثانیه / ۱) تبدیل شوند. روش این تبدیل به شرح زیر است:

انرژی تابشی یک فوتون توسط فرمول (۱) داده می شود.

$$Q = hc/\lambda \quad (2)$$

که در آن :

Q: انرژی فوتون در واحد ژول (J)؛

h: ثابت پلانک (6.626×10^{-34} ژول ثانیه)؛

c: سرعت نور (3×10^8 متر بر ثانیه)؛

λ : طول موج (در واحد متر) است.

اگر طول موج در واحد نانومتر بیان شود، فرمول به صورت زیر ساده می شود:

$$Q_{\lambda} = 1.99 \times 10^{-16} / \lambda \quad (3)$$

اگر بیش از یک فوتون در یک طول موج خاص وجود داشته باشد، پس کل انرژی تابشی در آن طول موج برابر با حاصل ضرب تعداد فوتون ها (n) و انرژی تابشی فوتون است.

$$Q_{\text{total}} = nQ_{\lambda} = n(\lambda / 1.99 \times 10^{-16}) \quad (4)$$

در آن:

n = تعداد فوتون‌ها

λ = طول موج (در واحد نانومتر) می‌باشد.

از آن، یک فرمول برای تعداد فوتون‌ها می‌تواند حاصل شود:

$$n = (5.03 \times 10^{15}) Q_{\text{total}} \lambda \quad (5)$$

شار فوتون (در واحد ثانیه/۱) با جایگزینی شار تابشی فوتون (Φ) (در واحد وات یا ثانیه/ژول) به ازای انرژی فوتون به دست می‌آید. پس رابطه شار فوتونی به صورت زیر خواهد شد:

$$\text{Photon flux} = \text{photons/second} = (5.03 \times 10^{15}) \Phi \lambda \quad (6)$$

که در آن:

Φ : شار تابش فوتونی (در واحد وات)؛

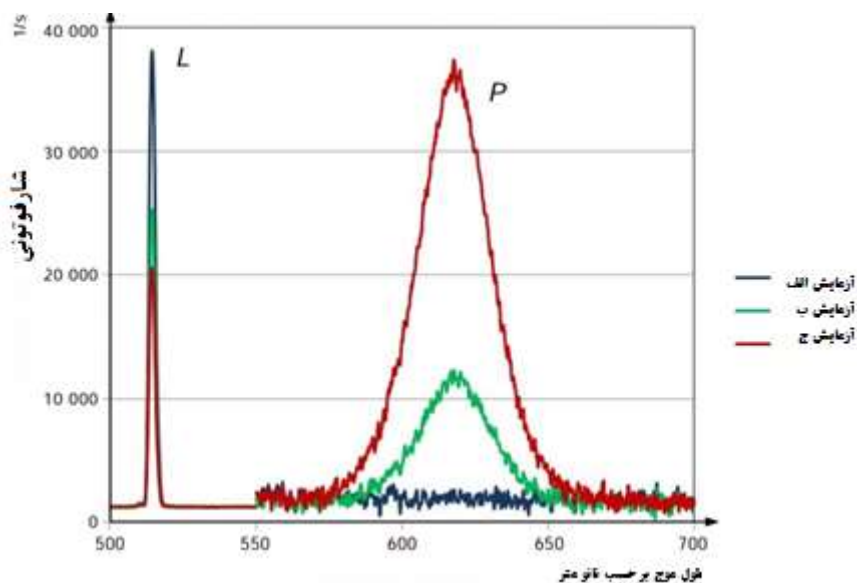
λ : طول موج (در واحد نانومتر) می‌باشد.

در نتیجه، حاصل ضرب طول موج و شار تابشی فوتونی، مقداری متناسب با تعداد فوتون در هر ثانیه را می‌دهد.

توزیع توان طیفی می‌تواند به یک نمودار تبدیل شود که محور عمودی آن با تعداد فوتون‌ها در هر ثانیه در

یک بازه طول موج داده شده متناسب است که با ضرب کردن طول موج در شار تابشی طیفی در آن طول

موج بدست می‌آید. یک مثال نوعی در شکل ۳ نشان داده شده است.



شکل ۳ - طیف نمونه برای روش نور تابشی موازی

راهنما:

P: گسیل

L: منبع

شار فوتونی زمینه، بدون وجود نمونه در کره یکپارچه (آزمون الف)، اندازه‌گیری می‌شود. این سیگنال زمینه دستگاه، عمدتاً به دلیل نور هرز حاصل از پراکندگی پارازیتی در داخل کره بوده و باید از تمام اندازه‌گیری‌های بعدی کسر گردد.

نمونه را در داخل کره یکپارچه و مستقیماً در مسیر پرتو برخوردی قرار دهید (آزمون ج). از آنجایی که پرتو نور موازی می‌باشد، وقتی نمونه مستقیماً در مسیر پرتو نور قرار می‌گیرد، نور به نمونه در یک زاویه برخورد عمودی تابیده می‌شود (آزمون ج). بخشی از نور تابشی (الف) توسط نمونه جذب می‌شود و باقی‌مانده آن از نمونه یا عبور کرده یا منعکس می‌گردد. این نور عبور کرده و منعکس شده، در برگشت به دیوارهای کره یکپارچه برخورد می‌کند و به صورت پراکنده به سمت نمونه متفرق می‌شود. هر نور گسیل شده توسط نمونه نیز به صورت پراکنده‌ای به وسیله کره یکپارچه متفرق خواهد شد. از این رو، در روش نور تابشی موازی، نمونه، هم تابش اصلی از منبع نور موازی شده (با زاویه برخورد تقریباً صفر) و هم تابش اضافی در تمام زوایای برخوردی از نوری که توسط کره یکپارچه به صورت پراکنده متفرق شده است را دریافت می‌کند.

اگر نمونه در کره یکپارچه اما دور از نور موازی تابیده شده، قرار داده شود، تنها به وسیله تابش پراکنده شده پخش در تمام زوایای برخوردی، مورد تابش قرار خواهد گرفت (آزمون ب). یک کسری از این نور پراکنده شده (μ) توسط نمونه جذب می‌شود و باقی‌مانده آن یا عبور کرده و یا منعکس می‌گردد. این نور عبور کرده

و منعکس شده در برگشت به دیواره‌های کره یکپارچه برخورد می‌کند و مجدداً به صورت پراکنده به سمت نمونه متفرق می‌شود. هر نور گسیل شده توسط نمونه نیز به صورت پراکنده توسط کره یکپارچه متفرق خواهد شد.

طیف هر کدام از سه اندازه‌گیری، تجزیه و تحلیل می‌شود و قله‌های گسیل منبع و نورتایی نمونه مشخص می‌گردد. بعد از کسر مقدار زمینه دستگاه، سطح زیر هر قله شناسایی شده، توسط انتگرال گیری به دست می‌آید و مقداری متناسب با تعداد فوتون در هر ثانیه در یک بازه طول موجی مشخص را فراهم می‌کند. سطح زیر قله منبع به عنوان L نامیده می‌شود و میزانی از نور منبع که جذب نمی‌شود را مشخص می‌کند. سطح زیر قله گسیل به عنوان P نامیده شده و اندازه‌ای از نور گسیل شده را بیان می‌کند. اصلاحاتی اضافی مانند جبران نور هرز [۱۶] و خودجذبی [۱۷] نیز ممکن است اعمال شود. طیف تجزیه و تحلیل شده حداقل دارای مقادیر زیر است:

L_a : سطح زیر قله منبع، بدون هیچ نمونه‌ای در کره مجتمع (آزمون الف)

L_b : سطح زیر قله منبع با وجود نمونه در داخل کره مجتمع اما در حالتی که تنها به صورت پخشی نورتایی می‌شود (آزمون ب)

L_c : سطح زیر قله منبع با نمونه در داخل کره مجتمع و نورتایی شده توسط نور تابشی موازی و نوری که به صورت پراکنده متفرق می‌شود (آزمون ج)

P_b : سطح زیر قله گسیل ناشی از نورتایی با وجود نمونه در داخل کره مجتمع، اما در حالتی که تنها به صورت پخشی نورتایی می‌شود. (آزمون ب).

P_c : سطح زیر قله گسیل ناشی از نورتایی با وجود نمونه در داخل کره مجتمع و در حالی که توسط نور تابشی موازی و نوری که به صورت پراکنده متفرق می‌شود، نورتایی می‌شود. (آزمون ج).

تمام مقادیر L و P باید به واحدهائی متناسب با تعداد فوتون‌ها در هر ثانیه با استفاده از روش‌های توصیف شده در بالا در زیر بند ۶-۵-۱ تبدیل شوند.

از این متغیرها، کسری از نور تابشی که جذب می‌شود (A) و کارائی کوانتومی (η) را می‌توان با استفاده از فرمول‌های زیر محاسبه کرد. (این روش با جزئیات، در مرجع دیگری توصیف شده است [۱۵]).

$$A = (1 - L_c/L_b) \quad (7)$$

$$\eta = (P_c - (1 - A)P_b)/L_a A \quad (۸)$$

این فرمول را به صورت زیر نیز می توان بیان کرد:

$$\eta = \frac{P_c L_b - P_b L_c}{L_a (L_b - L_c)} \quad (۹)$$

۲-۵-۶ روش نور برخوردی پخشی

روش نور برخوردی پخشی امکان اندازه گیری کارائی کوانتومی نانومواد نورتاب را در هر دو فاز مایع یا جامد فراهم می کند. این روش یک اندازه گیری مطلق بازده کوانتومی است و از یک پرتو نور پخش شده که در تمام زوایای فرودی به عنوان منبع تحریک به نمونه ها برخورد می کند، استفاده می نماید.

پس از واسنجی تجهیزات آزمون، منبع نور کالیبره شده، با یک منبع نور (به عنوان مثال لیزر، LED یا لامپ تخلیه تک رنگ شده) و یک پخش کننده نوری، همان طور که در شکل ۲ نشان داده شده است، جایگزین می شود. پخش کننده نوری به عنوان وارد کننده نور به کره در زوایای پخشی عمل کرده و تابش پخشی نمونه را فراهم می کند. جزئیات بیشتر مربوط به روش نور برخوردی پخشی را در مراجع دیگر می توان یافت [۱۸].

در روش نور برخوردی پخشی، مقادیر شار تابشی طیفی در واحدهای W/nm در همه محاسبات استفاده می شود و سطح زیر منحنی مشاهده شده، پس از حذف پس زمینه، توسط انتگرال گیری، برای تعیین توان تابشی منبع (L) و توان تابش گسیل (P) مورد استفاده قرار می گیرد. در روش نور برخوردی پخشی، برای محاسبه کارائی کوانتومی (η) فقط دو اندازه گیری انجام می شود:

آزمون الف: یک نمونه شاهد در داخل کره مجتمع. نمونه شاهد باید معرف شکل نمونه مورد آزمون باشد. بسته به شکل نمونه، نمونه شاهد ممکن است یک سل خالی (برای نمونه های مایع اندازه گیری شده در یک سل معادل)، ماتریس سیلیکونی پر نشده (برای نمونه های جامد که در مواد سیلیکونی معادل قرار می گیرند)، زیر لایه بدون پوشش (برای نمونه های جامد که بر روی یک زیر لایه معادل پوشش داده شده اند)، و یا سایر اشکال باشد. این اندازه گیری، مقدار L_A را بدست می دهد که نشان دهنده قله منبع در حالی که تنها نمونه شاهد در کره قرار دارد، می باشد.

آزمون ب: نمونه مورد آزمون در داخل کره مجتمع قرار گرفته و در معرض تابش منبع نور پخشی قرار می گیرد. این اندازه گیری، L_B (از قله منبع) و P_B (از قله گسیل) را مشخص می کند.

توزیع توان طیفی منبع نور تحریکی باید بدون هیچ نمونه‌ای با استفاده از متغیرهای داده برداری مشابه مرحله واسنجی، ثبت گردد. انتگرال این طیف، توان نوری (L_{ex}) نور تحریکی وارد شده به کره می‌باشد. به همین ترتیب، طیف پس زمینه (L_{back}) باید در حالی که منبع نور خاموش شده، ثبت گردد. کل توان نوری ورودی به کره (L_{total}) می‌تواند به عنوان تفاوت بین L_{ex} و L_{back} محاسبه شود.

$$L_{total} = L_{ex} - L_{back} \quad (10)$$

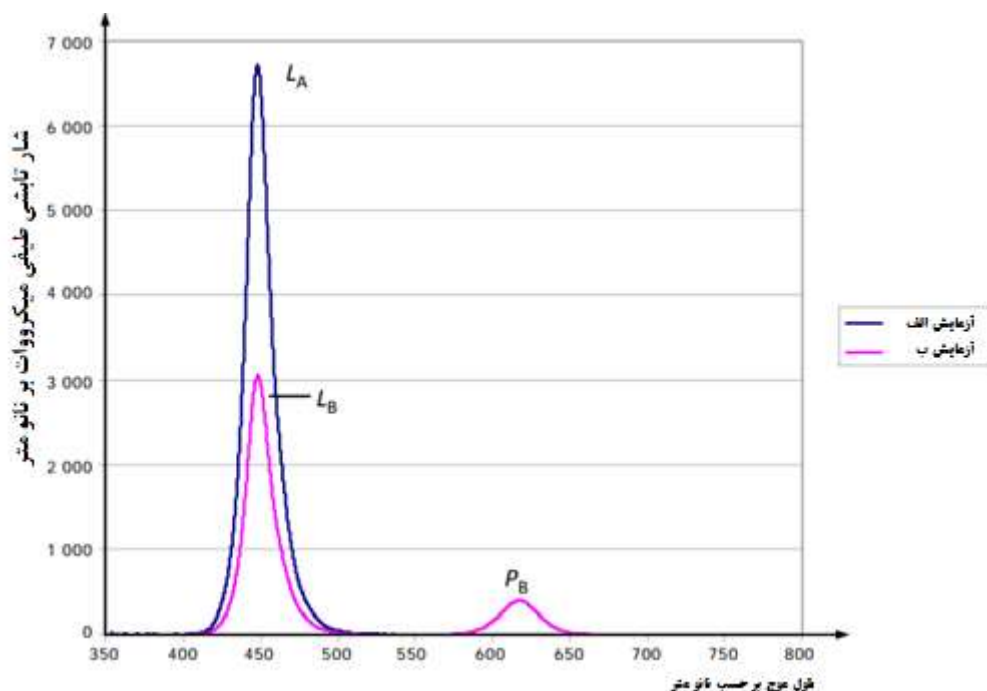
در آزمون الف، نمونه‌ای شاهد با اندازه‌ای متناسب با نمونه شاهد مورد آزمون، در نگهدارنده داخل کره مجتمع قرار می‌گیرد. توزیع توان طیفی برای این نمونه شاهد در هر طول موج با استفاده از متغیرهای داده برداری مشابه آنچه در مرحله واسنجی تنظیم شده‌است، ثبت می‌شود. اختلاف در توان نوری این طیف (L_A) و مقداری که بدون نمونه ثبت شده‌است (یعنی $\Delta L = L_{total} - L_A$) مقدار نور جذب شده توسط نمونه شاهد می‌باشد. به منظور حفظ این تفاوت در حداقل مقدار ممکن، از استفاده از نشانه‌های رنگی بر روی نمونه شاهد باید اجتناب شود.

نمونه شاهد از نگهدارنده نمونه برداشته شده و با نمونه آماده شده بر اساس توضیحات زیر بند ۴-۶، جایگزین می‌شود. توزیع توان طیفی برای نمونه با استفاده از پارامترهای مشابه آنچه که در مرحله واسنجی تنظیم شده‌است، ثبت می‌شود. تفاوت در توان نوری مجتمع این طیف و آنچه که برای نمونه‌های شاهد ثبت شده‌است، حاوی اطلاعاتی درباره کسری از نور که توسط نمونه جذب شده و گسیل مجدد آن از طریق فلورسانس، می‌باشد. این مقادیر به شرح زیر است:

L_B : توان منبع در حالی که نمونه در داخل کره یکپارچه قرار دارد و تحت تابش پخشی منبع قرار می‌گیرد.

P_B : توان گسیل ناشی از تحریک نمونه در داخل کره یکپارچه زمانی که تحت تابش پخشی منبع قرار می‌گیرد.

یک طیف به عنوان نمونه در شکل ۴ نشان داده شده‌است. منحنی آبی رنگ نشان دهنده طیف نمونه شاهد است و قله منبع تحریک (L_A) در طول موج ۴۵۰ نانومتر قابل مشاهده است. منحنی قرمز رنگ نشان دهنده طیف به دست آمده از نمونه حاوی نقاط کوانتومی است. علاوه بر قله منبع جذب نشده (L_B)، هم قله گسیل نانومواد نورتاب در حدود ۶۲۰ نانومتر (P_B) قابل مشاهده هستند.



شکل ۴- طیف نمونه برای روش نورتاب شی پخشی

با استفاده از این اطلاعات، کارائی کوانتومی نمونه قابل محاسبه است. تغییر در سطح زیر منحنی تحریک بین نمونه شاهد (L_A) و نمونه اصلی (L_B)، میزان توان تابشی برخوردی پخشی جذب شده توسط نمونه را می‌دهد.

سطح زیر منحنی گسیل (P_B) پس از اصلاح اثر پس زمینه (P_{back})، مقدار توان نوری گسیل شده توسط نقاط کوانتومی فلورسنت را می‌دهد.

کارائی تبدیل توان (PCE) نمونه می‌تواند به صورت زیر محاسبه شود:

$$PCE = (P_B - P_{back}) / (L_A - L_B) \quad (7)$$

PCE به واسطه طول موج یک فوتون گسیل شده با انرژی متوسط ($-\lambda$) با کارائی کوانتومی، مرتبط می‌شود که باید هم برای توزیع توان طیفی گسیل شده ($P(-\lambda)$) در آزمون ب و هم برای توزیع توان طیفی تحریک ($L_A(-\lambda)$) در آزمون الف، محاسبه شود. به طور کلی، انرژی متوسط فوتون را می‌توان از طریق توزیع شار تابشی طیفی ($R(\lambda)$) به صورت زیر محاسبه کرد:

$$\bar{\lambda} = \int \lambda R(\lambda) d\lambda / \int R(\lambda) d\lambda \quad (8)$$

از این مقادیر، کارائی کوانتومی (η) می‌تواند محاسبه شود:

$$\eta = \text{PCE}^*(\bar{\lambda}_p) / \bar{\lambda}_{LA} \quad (9)$$

۷ حالت عدم قطعیت

عدم قطعیت اندازه‌گیری‌های کارائی کوانتومی بسته به تجهیزات، شرایط آزمون و فعالیت‌های شخصی آزمایشگاهی می‌تواند به صورت گسترده‌ای متفاوت باشد. کاربران این استاندارد به استفاده از مرجع IEC/ISO راهنمای ۳-۹۸ برای راهنمایی و دیگر ابزارها و منابع مربوط تشویق می‌شوند [۱۹].

به منظور ایجاد محتوای مناسبی برای اندازه‌گیری‌ها، تخمینی از عدم قطعیت باید در گزارش آزمون قید گردد. منابع مهم عدم قطعیت را به ترتیب اهمیت برای روش‌های آزمون مختلف استفاده شده در این استاندارد را مشخص کنید (نوع الف و نوع ب). گزارش باید شامل تخمین‌هایی از هر دو عدم قطعیت‌های نوع الف و نوع ب بوده و این که چگونه با ترکیب آنها می‌توان برای رسیدن به یک عدم قطعیت کلی اقدام نمود توضیح داد.

اجزاء عدم قطعیت، بسته به تکنیک به کار رفته در اندازه‌گیری کارائی کوانتومی (یعنی روش‌های آزمون مطلق یا وابسته)، تغییر خواهد کرد و با هر اصلاحی در فرایند آزمون متفاوت خواهد بود. تخمین‌های عدم قطعیت باید با هر تغییری در فرایند آزمون، مرور گردد.

۸ گزارش آزمون

گزارش آزمون حداقل باید حاوی موارد زیر باشد:

- تاریخ و سازمان/شخص انجام دهنده آزمون
- شرایط محیطی
- حالت فیزیکی ماده
- توصیف آماده‌سازی نمونه
- جذب یا تراکم نوری در طول موج تحریک
- روش آزمون مورد استفاده
- تجهیزات مورد استفاده (طیف سنج نوری یا طول موج‌های طیف سنج رادیویی، قطر کره، موقعیت نمونه در حال آزمون، ورود نو تحریکی، دیگر المان‌های نوری).

- منبع و روش واسنجی شامل توان لامپ، نوع لامپ، نوع توزیع شدت-بی جهت /جهت دار و قابلیت ردیابی آن برای اندازه‌گیری‌های مطلق.
- طول موج تحریک، منبع، سطح توان، و شکل قله
- طول موج گسیل
- توزیع توان طیفی
- کارائی کوانتومی
- تخمین‌های عدم قطعیت برای هر متغیر اندازه‌گیری که روی عدم قطعیت اندازه‌گیری کلی اثر می‌گذارد، باید داده شود (برای مثال، طول موج تحریک، طول موج گسیل، شرایط محیطی، منبع واسنجی و مانند آن). گزارش آزمون هم چنین باید شامل بیان عدم قطعیت اندازه‌گیری کلی برای تعیین کارائی کوانتومی شامل ضریب پوشش و سطح اطمینان باشد.

پیوست الف

(آگاهی دهنده)

افت کارائی کوانتومی بواسطه دما،

ملاحظات مدولاسیون نوری برای جلوگیری از گرم شدن نمونه، و دستیابی به بهترین شرایط اندازه گیری

الف-۱ نگاه کلی

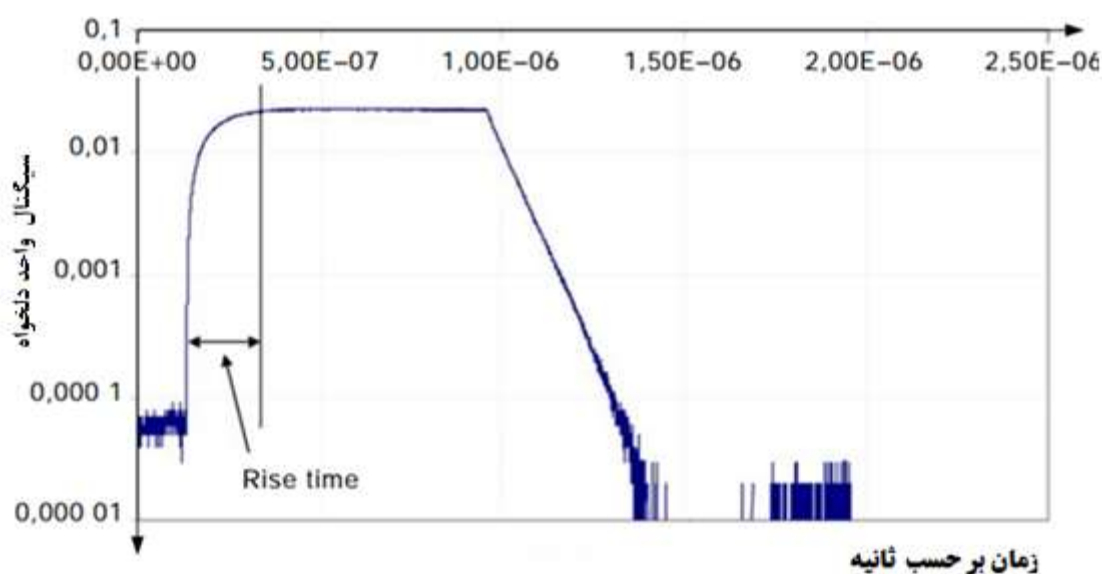
اثر افت کارائی کوانتومی بواسطه دما (TQE) یکی از ملاحظات مهم برای اندازه گیری کارائی کوانتومی است. گرم شدن نمونه به عوامل مختلفی از جمله اختلاف انرژی بین طیف تحریک و گسیل (تلفات استوکس)، اندازه شروع (اما ناشناخته) واقعی کارائی کوانتومی ماده بدون هیچ تابش برخوردی (کارائی کوانتومی کمتر، به طور خودکار نمونه را برای تراکم تحریک مشابه گرم تر خواهد کرد)، ماتریس زمینه که در آن نانو مواد نورتاب معلق می باشند و توزیع گرمائی بین نمونه اندازه گیری شده و باقیمانده چینش آزمون، داشته و در نهایت (آماده سازی) پخش گرما بستگی به خود چینش دارد. این محدود می شود به در نظر گرفتن چنین اثری، اگر کارائی کوانتومی برحسب تابعی از تراکم تحریک مشخصه یابی شود. گر چه این ملاحظات می توانند با تنوعی از راه حل های سخت افزاری درست شوند. در ادامه مثالی از این که چگونه TQE می تواند با استفاده از یک منبع نوری مدوله شده، مانند یک لیزر دیودی، اصلاح شود، بیان می شود.

الف-۲ توجه به TQE

لیزرهای دیودی، به دلیل سهولت در مدیریت پرتو نوری، پایداری خروجی و تنظیم نابسته عرض پالس و زمان کار منابع نوری جذابی هستند. عامل محدود کننده عرض پالس، زمان های افزایش و تنزل نورتابی نمونه است. عرض پالس باید برای اجازه دادن به گسیل نمونه تا حالت اشباع، انتخاب شود. شکل ۱ یک نمونه YAG:Ce نشان دهنده زمان افزایش نورتابی تقریباً ۰/۲۵ میکرو ثانیه می باشد. باید یادآور شد که زمان افزایش و نزول به تراکم تحریک و هم چنین چینش اندازه گیری بستگی داشته و چنین کنترلی ممکن است برای تراکم های تحریک مختلف مورد علاقه نیاز باشد. برای مثال اگر هدف جلوگیری از گرم شدن می باشد، پس توصیه می شود از پالس های خیلی کوتاه یا زمان کار پائین استفاده شود. به طور کلی بیشترین گرمای ایجاد شده^۱ در زمان پالس باعث افزایش دما خواهد شد که طبق رابطه $\Delta T = \Delta Q / mC$ بستگی به

^۱ $\Delta Q = \Delta t(\text{time}) \times P(\text{power})$

ظرفیت گرمای ویژه تخمینی C و جرم ماده m دارد. این می‌تواند در محدوده کسری از درجه تا چندین درجه در هر پالس گرما بالای دمای محیط باشد.

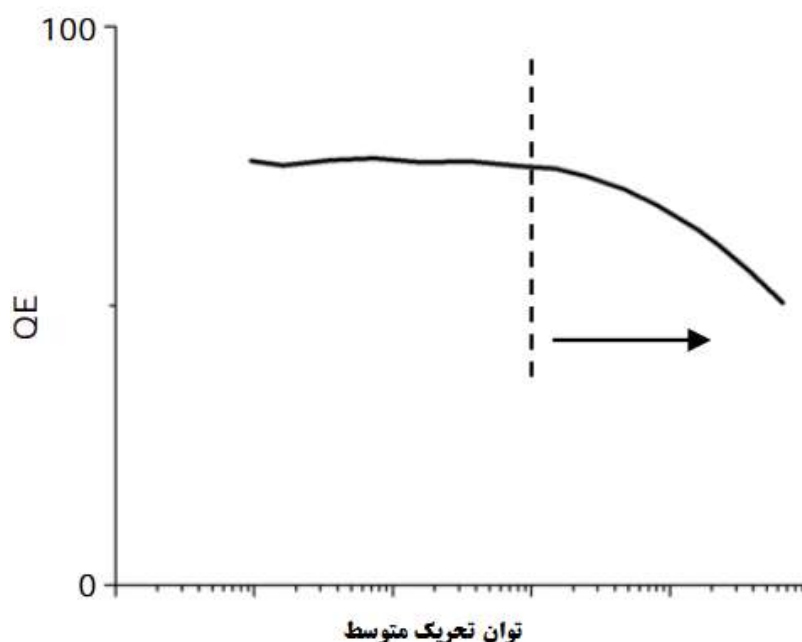


شکل الف-۱- مثالی از رفتار گذاری ماده نورتاب YAG:Ce تحت تحریک پالسی

در این مثال عرض پالس تحریک بزرگتر از زمان اشباع سیگنال نورتابی می‌باشد. با این وجود، این امر ممکن است بیانگر شرایط استفاده شده در کاربردهای کاربر مختلف نباشد و بنابراین این ممکن است حرارت را اضافه کند بدون این که به طور ویژه اثر دقیق آن مشخص باشد، فقط اندازه‌گیری برآیند ترکیبی کارائی کوانتومی که از ماده تحت شرایط تعریف شده توسط کاربر مورد انتظار می‌باشد.

شرایط مرزی زمان کار توسط پاسخ دینامیکی آشکارساز در چینش کارائی کوانتومی و گرم شدن نمونه، تثبیت می‌گردد. شکل ۲ یک نمایش منحنی نوعی کارائی کوانتومی محاسبه شده به عنوان تابعی از تراکم تحریک متوسط می‌باشد. در این حالت تراکم تحریک متوسط ویژه از طریق تغییر جداگانه عرض پالس و زمان کار می‌تواند بدست آید. کارائی کوانتومی با استفاده از فرایند آزمون زیر بخش ۶-۵ مشخص می‌شود. منحنی‌های مشابهی می‌تواند با استفاده از تغییر ترکیبات مختلف زمان کار/عرض پالس برای سطوح مختلف قله توان لیزر ایجاد گردد. در شکل ۲ برای مثال، خط چین بیانگر ناحیه‌ای است که گرم شدن آغاز می‌شود، این امر معمولاً با شیف‌ت طیف گسیل نقاط کوانتومی نمونه همراه می‌شوند. بنابراین اندازه‌گیری کارائی کوانتومی باید در توان‌های تحریک کمتر از این سطح انجام شود. در تحریک‌های بالاتر، مهم است از این که آشکارساز در محدوده خطی خود باشد، مطمئن شویم. همینطور دیگر اثرات فیزیکی برای خطی بودن جزئی

نور خروجی بیشتر مواد در مقادیر شار برخوردی بالا در نظر گرفته شوند. جزئیات روش‌های اندازه‌گیری برای ارزیابی خطی بودن تجهیزات اندازه‌گیری فلورسنت را می‌توان جای دیگری یافت [۴ و ۶].



شکل الف-۲- نمودار طرح واره‌ای تغییرات QE به‌نجار شده با توان تحریک متوسط و محدوده دلخواه توان ورودی (مشخص شده به وسیله خطوط عمودی)

یادآوری- جایگزینی برای لیزرهای دیودی پالسی یک لیزر موج پیوسته با تثبیت‌کننده دما با یک چاپر مدولاسیون بسامد کنترل شده الکترونیکی می‌باشد. این ترکیب سخت‌افزاری به دستیابی به عرض پالس‌های بلندتر و فرکانس‌های کمتر از زیر یک هرتز تا کیلو هرتز، البته نه در تمام حالت‌های ناپسته، اجازه می‌دهد. مزیت آن افزایش نسبت سیگنال به نوفه در مقایسه با موج پیوسته به تنهایی و وقوع رهایی از نوفه در تولید پالس در منابع لیزر غیر حالت جامد می‌باشد.

مکانیزم‌های فیزیکی چنین رفتاری در [۲۰ و ۲۱ و ۲۲] توصیف شده‌است و به ماهیت جذب که حجم تحریک را مشخص می‌کند، بستگی دارد. برای مثال، تحریک در محدوده طیفی، جایی که تراکم حجمی بالای نوسانگرهای میکروسکوپی (مانند جذب اصلی/شکاف باند ماده) یا ضریب جذب بالا به خاطر دیگر انتقال‌ها، منجر به جذب خیلی کم عمق و بنابراین در تراکم تحریک بالا می‌گردد. هر چه این اثرات بیشتر مورد توجه قرار گیرند، انتخاب شرایط اندازه‌گیری به این که چه چیزی در در یک کاربرد مشخص برای خواص ذاتی ماده یا خواص آشکار شده مورد علاقه می‌باشد، بستگی خواهد داشت. یک راهنمای کلی برای یافتن بهترین ویژگی ذاتی ماده، استفاده از کمترین تراکم، بدون قربانی کردن نسبت سیگنال به نوفه در داده برداری می‌باشد.

کتاب نامه

- [1] P.-S. SHAW et al. Measurement of the ultraviolet-induced fluorescence yield from integrating spheres. *Metrologia*, 2009, 46, S191-S196
- [2] R. D. SAUNDERS et al. Spectral irradiance measurements: effect of uv-produced fluorescence in integrating spheres. *Applied Optics*, 1976, Vol. 15, Iss. 4, pp. 827-828.
- [3] U.S. Department of Health and Human Services, Approaches to Safe Nanotechnology: Managing the Health and Safety Concerns Associated with Engineering Nanomaterials. DHHS (NIOSH) Publication 2009-125, March 2009.
- [4] P.C. DEROSE and U.RESCH-GENGER. Recommendations for Fluorescence Instrument Qualification: The New ASTM Standard Guide. *Analytical Chemistry*, 2010, volume 82 pp. 2129 – 2133.
- [5] IUPAC Project no. 2004 021 1 300. Fluorometry Task Group
- [6] ASTM E 578-07, Standard test method for linearity of fluorescence measuring systems.
- [7] ASTM E 388-04, Standard test method for wavelength accuracy and spectral bandwidth of fluorescence spectrometers
- [8] D.F. EATON. Reference materials for fluorescence measurement. *Pure and Applied Chemistry*, 1998, 60 1107.
- [9] ASTM E2719-09, Standard guide for fluorescence – Instrument calibration and qualification
- [10] R.F. KUBIN and A.N. FLETCHER. Fluorescence quantum yields of some rhodamine dyes. *J. Luminescence*, 1983, 27, 455.
- [11] M. DOUGLAS et al. Absolute luminescence yield of cresyl violet. A standard for the red. *J. Phys. Chem.*, 1979, 83, 696.
- [12] T. KARSTENS and K. KOBS. Rhodamine B and Rhodamine 101 as reference substances for fluorescence quantum yield measurements. *J. Phys. Chem.*, 1980, 84, 1871.
- [13] A.M. BROUWER. Standards for photoluminescence quantum yield measurements in solution (IUPAC Technical Report). *Pure and Applied Chemistry*, 2011, 83, 2213.
- [14] Labsphere, A guide to integrating sphere theory and applications. Available at www.Labsphere.com.
- [15] J.C. DE MELLO, H.F. WITTMANN, R.H. FRIEND. An improved experimental determination of external photoluminescence quantum efficiency. *Advanced Materials*, 1997, 9, 230.

- [16] Y. ZONG, S.W. BROWN, B.C. JOHNSON, K.R. LYKKE, and Y. OHNO. Simple spectral stray light correction method for array spectroradiometers. *Applied Optics*, 2006, 45, 1111.
- [17] T.-S. AHN, L. AL-KAYSI, A.M. MULLER, K.M. WENTZ, and C.J. BARDEEN., Selfabsorption correction for solid-state photoluminescence quantum yields obtained from integrating sphere measurements. *Review of Scientific Instruments*, 2007, 78 086105-1.
- [18] L.S. ROHWER and J.E. MARTIN. Measuring the absolute quantum efficiency of luminescent materials,” *Journal of Luminescence* 115 (2005) 77
- [19] ISO/IEC Guide 98-3:2008, Uncertainty of measurement – Part 3: Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM:1995)
- [20] A. BRIL, *Physica* 15, 1949, 361 (); A. BRIL, *Philips. Technincal Rev.* 1950, 12 120.
- [21] D. M. DE LEEUW, G. W. ‘T HOOFT, *J. Lumin.* 28 (1983) 275 and references therein.
- [22] K.C. MISHRA, M. RAUKAS, *J. Electrochem.Soc.*, 151 (2004) H105-H112.
- [23] ISO TS 80004-2__3, Nanotechnologies – Vocabulary – Part 2: Nano-objects: nanoparticle, nanofibre and nanoplate