シリコンホトダイオードの自己校正法にもとづいた 253.7nm放射の絶対測定(2)

—測定方法の確度の検討—

正会員 大久保 和明* 正会員 大野 義弘* 専門会員 中川 靖夫**

Calibration of 253.7 nm irradiance based on the silicon photodiode self-calibration technique(2)

— Analysis of the uncertainties —

Kazuaki Ohkubo (Member), Yoshihiro Ohno (Member)

(Lighting Research Laboratory, Matsushita Electric Industrial Co.,Ltd)

Yasuo Nakagawa (Fellow Member)

(Faculty of Engineering, Saitama University)

ABSTRACT

An attempt was made to intercompare the accuracy for the 3 methods of 253.7 nm irradiance calibration. The first method, which we have already reported, is based on the silicon photodiode self-calibration technique. In this method, the absolute responsivity at 253.7 nm of the photodiode was determined by the absolute responsivity at 632.8 nm calibrated by the self-calibration technique and the relative spectral responsivity measurement. The second method uses a thermal detector calibrated by standard lamps and optical filters. The third method is a comparison measurement with the blackbody using a monochromator. The scales of 253.7 nm irradiance realized by the three methods agreed within 1.5 % and it is confirmed that each method has sufficient accuracy for primary standards of the 253.7 nm irradiance.

1. ま え が き

水銀放電ランプから得られる波長 253.7 nm の輝線など、300 nm 以下の波長帯域の放射は、ホトンエネルギーが大きいため、従来から殺菌放射源として空気や水の洗浄など医療、食品加工の分野で広く利用されている。また、この波長帯域の放射は近年、有機物などを化学的に分解する効果を利用した半導体洗浄や、印刷・塗装の分野における高速乾燥など、幅広く利用されるようになり、用途に応じた放射源（水銀ランプやエキシマレーザなど）の開発がさかに行なわれている。これに伴い、紫外域の単一波長放射量を精度良く測定する技術が必要とされている。

一方、紫外波長域の放射量の測定における絶対値の標準は、国際温度目盛りにもとづく黒体放射を一次標準として導かれるが、黒体炉から得られる紫外放射はきわめて微弱なことや、253.7 nm 放射の値付けに至るまで何段階かの間接測定を経るため、値

付けの確度については十分な保証が得られていないのが実状であった。

われわれは既に、先に述べた国際温度目盛りにもとづく黒体放射から独立した方法として、応答度が高く、安定で入出力直線性に優れたシリコンホトダイオードを用いて、その自己校正と相対分光応答度測定を組み合わせた波長 253.7 nm 放射照度の値付け方法について報告した¹⁾。

今回この方法によって求めた 253.7 nm 放射照度の確度を調べるために、この方法と、黒体放射をもとに値付けされた二次標準電球により、その絶対応答度を導いた熱形検出器とフィルタを組み合わせた従来²⁾³⁾および、黒体炉から分光放射照度標準電球を介して分光法により求める方法の、3つの方法により求めた 253.7 nm 放射照度を相互比較したので報告する。なお熱形検出器は、日本の国家標準の二次標準電球を使って値付けを行なったものであり、分光法は米国の NIST (National Institute of Standard and Technology:旧 NBS) において、米国の放射標準を使用して測定を行なった。

2. 自己校正法にもとづく放射照度値付け方法¹⁾

2.1 253.7 nm の絶対応答度の測定

シリコンホトダイオードの自己校正法は、ある波長の放射に対

* 松下電器産業株式会社照明研究所

** 埼玉大学工学部

本論文の一部は、筆者らが平成 2 年度照明学会全国大会で発表したものである。

図 1 シリコンホットダイオードの自己校正法に基づく方法

するホットダイオードの絶対応答度を、その内部量子効率と表面反射率から求める方法である。これにより黒体炉や二次標準である光度標準電球や全放射照度標準電球などを使用せずに、シリコンホットダイオードそのものの物理特性から、直接その素子の絶対応答度の値付けを行なうことができる⁴⁾⁵⁾が、現段階では、適用できる波長域が可視域に限られ、波長 253.7 nm 付近の紫外線においては十分な精度が得られない。これは、波長の短い、すなわちエネルギーの高い光子がシリコンホットダイオードに入射すると、通常の、光子 1 個に対して発生した一対の電子と正孔が余剰のエネルギーを運動エネルギーとして持ち、それが衝突電離を引き起こし、さらに複数の電子正孔対が発生する impact ionization 効果が生ずるため、内部量子効率が上記の理論に従わなくなるからである⁶⁾。そこで、現時点で高い精度が得られることが確認されている波長 632.8 nm において⁷⁾⁸⁾シリコンホットダイオードの絶対応答度を自己校正法によって求め、その値と、熱形検出器を相対分光応答度標準とした測定により求めた波長 632.8 nm と 253.7 nm の相対分光応答度との比から、波長 253.7 nm の絶対応答度を導いた。その手順の概要を図 1 に示す。

絶対応答度測定用のシリコンホットダイオードとしては、低容量拡散型の S1337-1010BQ (浜松ホトニクス社製) の前面ガラスを除去したものを用いた。この素子は、n 層に不純物濃度の低い高抵抗型を使用し、空乏層を大きくしていることなどから、632.8 nm における自己校正法により、高い精度で絶対応答度の測定が可能であり⁸⁾、また紫外波長域で高い応答度を持つため波長 253.7 nm での使用に適することがすでに確かめられている⁹⁾。

自己校正の測定には、He-Ne レーザ (出力 0.5 mW, ビーム径 3 mm ϕ) とビームスタビライザを組み合わせたものを使用して、波長 632.8 nm における以下の特性を求めた。

- (1) 表面反射率 $\rho(\lambda)$ の測定
- (2) SiO_2 と Si との境界面における再結合損失 $1 - \epsilon_0(\lambda)$
- (3) 空乏層後方の n 領域における再結合損失 $1 - \epsilon_R(\lambda)$

上記の測定のうち、(2) の SiO_2 と Si との境界面における再結合損失は、水電極法によるオキシサイドバイアス測定により求め、(3) の空乏層後方の n 領域における再結合損失は、リバースバイアス測定により求めた。これらの値から、シリコンホットダイオードの波長 632.8 nm での絶対応答度を求めた。

図 2 金黒を蒸着した PVF₂ 熱形検出器受光面の分光反射特性

図 3 波長 253.7 nm 放射源の逆校正

実際には、オキシサイドバイアス測定を行なった後、シリコンホットダイオード自身の特性が変化するため⁷⁾、最初に、2つのシリコンホットダイオードに対して He-Ne レーザによる出力を比較測定しておき、一方のシリコンホットダイオードで、自己校正を行ない絶対応答度 (比較測定時の値) を求め、その値からもう一方のシリコンホットダイオードの絶対応答度の値付けを行なった。

波長 253.7 nm と 632.8 nm でのシリコンホットダイオードの相対分光応答度の比を測定するために、相対分光応答度測定の標準として使用した熱形検出器は、金黒を付けた受光面をもつ PVF₂ 熱形検出器⁹⁾¹⁰⁾である。この熱形検出器は、サーモパイルに比べて SN 比が約 10 倍優れ、また、サーモパイルと異なり交流動作で使用するため、出力の温度ドリフトが小さい。特に熱吸収層に 2 torr の窒素雰囲気中で付けた金黒は、紫外から赤外まできわめて波長依存性の少ない分光吸収率をもち、相対分光応答度標準として比較的安定な測定が実現できる¹¹⁾。

今回使用した PVF₂ 熱形検出器の金黒受光面の分光反射特性 (0°/45° の分光放射輝度率, BaSO_4 圧着面を標準とした比較測定)⁹⁾ を図 2 に示す。

2.2 253.7 nm 放射照度標準の値付け (逆校正)

上記のシリコンホットダイオードと、開口面積を精密に求めたアパーチャ (開口 6 mm) を組み合わせて、波長 253.7 nm 放射に対して放射照度の値の付いた標準受光器を構成した。

波長 253.7 nm における絶対応答度 (放射照度) を値付けした上記の標準受光器に、正確に分光透過率を測定した干渉フィルタを組合せて波長 253.7 nm 放射のみを測定する受光器を構成した場合、干渉フィルタとシリコンホットダイオードの受光面との相互反射や干渉フィルタの透過率の不均一性などによる誤差が生じ、正しい絶対応答度が得られない。このため、まず波長 253.7 nm 放射源を作り、その放射照度を、先に絶対応答度を値付けした標準受光器を使って測定し (放射源の逆校正)、その値によって波長 253.7 nm 付近の放射のみに感度をもつ受光器 (後に述べる比較用受光器) の値付けを行なった。波長 253.7 nm の単一のスペ

図 4 254 nm 干渉フィルタの分光透過率

クトルをもつ放射源は、殺菌ランプGL-15と、波長 254 nm を中心とする透過帯域をもつ干渉フィルタとで構成した。図 3 に、この測定系を、また図 4 に使用した干渉フィルタ（日本真空光学製；透過帯中心波長 254 nm）の分光透過特性を示す。干渉フィルタの分光透過率は、シリコンホトダイオードが感度をもつ波長 1100 nm まで測定したが、波長 300 nm 以上では、分光透過率は 0.3 % 前後であり、また波長 500 nm 付近の副透過帯も最大で 0.5 % 以下の透過率であった。実用的に使用される殺菌放射源は低圧水銀ランプであり、この 500 nm 付近で輝線放射をもたないので、この副透過帯は低圧水銀ランプに対する殺菌線放射照度を測定する上では問題ないと考えられる。

上記の 253.7 nm 放射源の逆校正では、標準受光器に波長 253.7 nm の絶対応答度の値が付いているため、他の 253.7 nm 単一スペクトル放射測定用受光器に対して、その受光面での放射照度の値付けができる。すなわち、標準受光器と値付けしようとする受光器に入射する放射が、波長 253.7 nm の単一スペクトルであることが確認できればよく、使用する低圧水銀ランプ（殺菌ランプGL-15）のスペクトルや干渉フィルタの分光透過率を精密に測定する必要がない。この点でも従来の熱形検出器とフィルタを使った方法（フィルタの正確な分光透過率が必要）と比べて値付け精度を向上できるものと考えられる。

シリコンホトダイオードの自己校正法にもとづく 253.7 nm 放射の絶対放射照度の値付け方法は、国際温度目盛から独立した測定方法であり、われわれの行った実験値と、NIST や、わが国の工業技術院電子技術総合研究所の実験値との比較から、可視波長域（632.8 nm）では $\pm 0.2\%$ 程度の精度が得られることが確かめられている⁸⁾。シリコンホトダイオードの相対分光応答度の測定は、標準に熱形検出器を使用するため、 $\pm 2\%$ 以内の誤差が見込まれるが⁹⁾¹⁰⁾、安定で応答度の高いシリコンホトダイオードを放射照度の受光器標準として使用するため、各段階の測定で高い S/N が得られることから、253.7 nm 放射照度受光器（殺菌線照度計）の値付けには $\pm 2\%$ 程度の精度が期待できる。

3. 比較した放射照度値付け方法

3.1 熱形検出器とフィルタを用いた差動フィルタ法³⁾

この方法は、熱形検出器の分光応答度が、波長に対して一定であることを利用し、熱形検出器に測定しようとする輝線は透過するがそれより短い波長のパワーを透過しない遮断フィルタを組み合わせた場合の測定値と、その輝線の波長も含めてその波長より短い波長のパワーを透過しない遮断フィルタを組み合わせた場合

図 5 熱形検出器とフィルタを組み合わせて差動フィルタ法

とのそれぞれの測定値の差から、その輝線パワーを求める方法である。通常、低圧水銀ランプに対して、この方法で波長 253.7 nm の放射照度標準の値を付け、標準放射源として使用する¹⁾²⁾。熱形検出器と 2 節で使用した干渉フィルタとの組み合わせでは、通常、干渉フィルタの透過率が低く（15～20 % のことが多い）、十分なパワーが得られないこと、図 4 に示したような長波長側の副透過帯の洩れ込みに対する対策が必要であることなどから、良い精度が得られない。これに対して、熱形検出器と短波長側を遮断するフィルタを用いた差動フィルタ法は、透過率が 90 % 程度ある遮断フィルタを使える上に、低圧水銀ランプの波長 253.7 nm の水銀輝線が波長的に孤立しており、かつ可視波長域のパワーに比べ大きいので、十分なパワーが得られるので、感度の低い熱形検出器でも測定できることから、この方法がこれまで一般的に使用されてきた。この測定手順の概要を図 5 に示す。

測定に使用した熱形検出器は、Eppley 製、Ag-Bi16 対のサーモパイルで、受光面の熱吸収層は金黒である。その目盛り定めは次の 3 つの方法で行なった。

- (1) 全放射照度標準による方法
- (2) 光度標準と帯域フィルタによる方法
- (3) 分光放射照度標準と帯域フィルタによる方法

(1) の全放射照度標準には、分布温度 2700 K の標準電球を使用し

図 6 差動フィルタ法に使用したフィルタの分光透過率

図 7 黒体炉から分光法により求める方法
(米国NISTで測定)

波長 250 nm における測定値の確度は $\pm 3\%$

た。この電球は、ピーク波長約 $1.1\mu\text{m}$ のフィラメントからの熱放射と、ピーク波長 $5\sim 7\mu\text{m}$ の外球からの熱放射の両方の放射照度の値が付けられている。このためサーモバイルの応答度は波長 $20\mu\text{m}$ 程度まで一定でなければならないことから、測定は窓なしで行なった。(2)の方法では、光束 $\Phi_v(1\text{m})$ は、標準比視感度 $V(\lambda)$ と最大視感効率 $K_m(683[1\text{m}/\text{w}])$ を仲介として、放射束 $\Phi(w)$ に変換できることを利用する。分布温度 2856 K の光度標準電球と可視波長域のみを透過する帯域フィルタ (L42, IRQ80, IRQ50を組み合わせて構成) を使用した。(3)では、分布温度 3160 K の分光放射照度標準電球 (JPD100V500WCS) と、(2)で使用した帯域フィルタを使用した。上記 3 つの方法により求めたサーモバイルの応答度は、測定値の 2.5 % 以内のばらつきで一致した。

次に、今回差動フィルタ法に使用した遮断フィルタの分光透過特性を図 6 に示す。波長 253.7 nm より短波長側をカットし、波長 253.7 nm の水銀輝線を含めた長波長側のパワーの測定には遮断フィルタ UV-22 (HOYA 製) を、また波長 253.7 nm の水銀輝線を含めず、それより長波長側のパワーの測定には遮断フィルタ UV-29 (HOYA 製) を使用した。また低圧水銀ランプは、波長 $1\mu\text{m}$ 以上の領域にも水銀輝線を持ち、さらにバルブからの二次放射があるため、赤外域での 2 つの遮断フィルタの特性の差は、大きな測定誤差要因となる。このため赤外域での分光透過特性がフィルタ UV-29 と同様の特性を持つ遮断フィルタ R-62 (HOYA 製) を使用しこれを補正した。

熱形検出器とフィルタを用いた差動フィルタ法では、得られた 253.7 nm 放射照度に対して次のような誤差要因が考えられる。1 つは、一次標準である黒体放射 (黒体炉) から導かれる放射の絶対量の値を各種の二次標準 (全放射照度標準電球、光度標準電球、分光放射照度標準電球など) に移す過程で、黒体炉の制御や標準電球の点灯条件の再現性などの問題から生ずる誤差である。分光放射照度標準電球の確度は、可視波長域で $\pm 1.4\%$ 、波長 250 nm で $\pm 3.1\%$ であり¹³⁾、光度標準電球の確度は $\pm 1\%$ であることが報告されている¹⁴⁾。もう 1 つは、この二次標準から熱形検出器に絶対応答度を値付けする際に生ずる誤差である。実際にこの熱形検出器の値付けを、全放射照度標準による方法と、光度標準と帯域フィルタによる方法、および分光放射照度標準と帯域フィルタによる方法の三通りの異なった方法で行ない、測定値の 2.5 % 程度のばらつきが生じた³⁾。この熱形検出器を使っ

図 8 比較用受光器の構造

て、253.7 nm 放射照度標準放射源 (低圧水銀ランプなど) の値付けをフィルタ法などで行なう場合、熱形検出器の検出能力の低いことや、熱形検出器の感度が赤外域まであるため放射源からの二次放射 (たとえばバルブが高温になり、バルブ自身から出る放射) が測定誤差要因となることなどから、 $\pm 2\%$ 程度の測定誤差が見込まれ、実用受光器 (殺菌線照度計) の値付けには放射の絶対量に対して約 $\pm 3\%$ 程度の誤差が見込まれる。

3.2 黒体炉をもとに分光法により求める方法

黒体炉を放射の一次標準として、分光法により波長 253.7 nm 放射照度を求める測定は、米国国立標準技術研究所 (NIST) の FASCAL (The Facility for Automated Spectroradiometric Calibrations) システム¹²⁾ を用いて行なった。これは温度可変標準黒体炉の 2580 K の放射をもとに、分光器を使って 500 W の分光放射照度標準電球を介して標準低圧水銀ランプに、波長 253.7 nm の放射照度の値付けを行なうもので、NIST が公表しているこの方法による値の確度は、波長 250 nm 付近では $\pm 3\%$ である。図 7 にその測定手順の概要を示す。

FASCAL システムは、一次標準となる黒体炉や二次標準光源を固定し、分光測定装置がスライドして測定する光路を順次切り換える構造を持ち、比較的短時間のうちに位置再現性の良い、標準値のトレースが可能である。また一次標準となる黒体炉は、必要に応じて運転可能な状態にある。

4. 比較用受光器

波長 253.7 nm の放射照度の値付けを行なう上記の 3 つの方法を比較するために、次のような比較用受光器を構成した。受光素子にはシリコンホトダイオード (浜松ホトニクス製 S1337-1010BQ) を使用し、これと 253.7 nm の水銀輝線のみを検出するための狭帯域透過干渉フィルタ (先にシリコンホトダイオードの自己校正法にもとづく方法で、254 nm 単一放射源を構成するのに使用したものと同一のもの) と、開口径 6 mm のアパーチャを組み合わせた。図 8 にその構造を示す。この受光器にそれぞれの方法で波長 253.7 nm 放射照度の値付けをし、その受光器で殺菌ランプ GL-15 を距離 1 m の地点で測定した場合の放射照度と比較した。なお、比較用受光器の斜め入射角特性は、余弦法則からはずれるため、棒状光源である殺菌ランプ GL-15 に対して、その測定値を解析的に補正した。

5. 測定結果

5.1 シリコンホトダイオードの自己校正法にもとづく方法

表1 自己校正により絶対応答度を導く方法による比較用受光器での
253.7 nm 放射照度測定値

測定光源	253.7 nm 放射照度 ($\mu\text{W}/\text{cm}^2$)	
	GL-15 No. 1	GL-15 No. 2
#1	33.79	23.38
#2	34.04	23.35
#3	33.70	23.30
平均値	33.84	23.34
ばらつき	$\pm 0.6\%$	$\pm 0.2\%$

ランプから受光面までの距離：1m

シリコンホトダイオードの自己校正法により絶対応答度を導く方法を用いて波長 253.7 nm 放射照度を測定した結果を表 1 に示す。自己校正と相対分光応答度測定による、波長 253.7 nm におけるシリコンホトダイオードの絶対応答度の値付けから、波長 253.7 nm の放射照度に対する比較用受光器の応答度の値付けまでを 3 回実施した。それぞれの値をもとに、2 本の殺菌ランプ GL-15 の距離 1 m での波長 253.7 nm の放射照度測定値を示す。殺菌ランプ GL-15 はいずれもランプ電流 300 mA で、 $25^\circ\text{C} \pm 1^\circ$ の雰囲気中に水平点灯した。2 本の GL-15 の測定値のばらつきは、 $\pm 0.6\%$ 以内であった。殺菌ランプ GL-15 の No.1 の方が、No.2 に比べて測定値のばらつきが大きいのは、受光器の設定位置の再現性によるものと考えられる。なお、ここで使用した殺菌ランプ

表2 サーマobilの差動フィルタ法で値付けした比較用受光器の
253.7 nm 放射照度測定値

測定光源	253.7 nm 放射照度 ($\mu\text{W}/\text{cm}^2$)	
	GL-15 No. 1	GL-15 No. 2
#1	34.00	23.68
#2	34.68	24.16
平均値	34.34	23.92
ばらつき	$\pm 1.0\%$	$\pm 1.0\%$

ランプから受光面までの距離：1m

GL-15 は、前回の報告¹⁾で使用したランプと異なるものである。

5.2 熱形検出器とフィルタを用いた差動フィルタ法

サーモobilの差動フィルタ法を使って、2 本の殺菌ランプ GL-15 に対して波長 253.7 nm の放射照度の値付けを行ない標準放射源とし、比較用受光器の校正を行なった。この受光器を使って比較用の 2 本の殺菌ランプ GL-15 を測定した。殺菌ランプ GL-15 は、5.1 節と同一点灯条件である。測定結果を表 2 に示す。2 本の 253.7 nm 標準放射源に対する比較用受光器の放射照度指示

表3 黒体炉から分光測定により導いた 253.7 nm 放射照度
(NIST の標準) に対する比較用受光器の分光応
答度測定値

	比較用受光器 の絶対応答度 $\text{nA} \cdot \mu\text{W}^{-1} \cdot \text{cm}^2$	測定光源の 253.7 nm 放射照度 への換算値 ($\mu\text{W}/\text{cm}^2$)	
		GL-15 No. 1	GL-15 No. 2
#1	9.986	34.05	23.42
#2	9.979	34.07	23.43
#3	9.997	34.02	23.40
平均値	9.987	34.05	23.42
ばらつき	$\pm 0.1\%$	$\pm 0.1\%$	$\pm 0.1\%$

(比較のため、距離 1 m での GL-15 の測定値に換算した値を示す)

値の差(ばらつき)は、 $\pm 1\%$ 程度であった。

5.3 黒体炉をもとに分光法により求める方法

この方法は、分光法により、標準黒体炉から分光放射照度標準電球、253.7 nm 放射照度標準ランプ(低圧水銀ランプ)および、比較用受光器へと放射照度の値付けを行なうものである。3.2 節に述べた FASCAL システムを使い、あらかじめ黒体炉から分光放射照度標準電球に値付けを行ない、この分光放射照度標準電球から、253.7 nm 放射照度標準ランプ(低圧水銀ランプ)、比較用受光器へと放射照度の値付けを 3 回実施した。表 3 に、これにより得られた比較用受光器の 253.7 nm 放射照度に対する絶対応答度と、その絶対応答度を、2 本の殺菌ランプ GL-15 の距離 1 m での放射照度を測定した場合の値に換算した値を示す。換算には、NIST での上記の測定の前後で、2 本の殺菌ランプ GL-15 に対して求めた比較用受光器の出力値を使用した。

上記の結果、測定値のばらつきは、 $\pm 0.1\%$ であった。他の方法に比べてばらつきが小さいのは、分光放射照度標準電球と 253.7 nm 放射照度標準ランプ(低圧水銀ランプ)を点灯したまま、分光測定装置と比較用受光器を切り替えて比較的短時間に測定できることから、測定の再現性がきわめて高いためと考えられる。

5.4 3つの方法による測定値の相互比較

上記の 3 つの 253.7 nm 放射照度の値付け方法で求めた比較用受光器の絶対応答度を、殺菌ランプ GL-15 の距離 1 m での放射照

表4 253.7 nm 放射照度の測定値比較

測定方法	253.7 nm 放射照度 ($\mu\text{W}/\text{cm}^2$)	
	GL-15 No. 1	GL-15 No. 2
自己校正から絶対応答度を導く方法による値付け	33.84 (-0.7%)	23.34 (-0.9%)
熱形検出器の差動フィルタ法による値付け	34.3 ($+0.7\%$)	23.9 ($+1.4\%$)
黒体炉から分光測定による値付け	34.05 (-0.0%)	23.42 (-0.6%)

() 内は、3 つの測定値の平均からのはずれ
ランプから受光面までの距離：1m

図9 253.7 nm 放射照度の測定値比較

度測定値に換算して比較した。結果を表 4 および図 9 に示す。3つの方法による値は、それらの平均値に対して $\pm 1.5\%$ 以内の差で一致した。

今回比較した3つの方法では、その一次標準が(1)半導体物理の原理による受光器、(2)黒体炉(日本)、(3)黒体炉(米国)と、それぞれ異なる上に、一次標準から253.7 nm放射照度を誘導する過程が全く異なる。このように異なる機関(国)で、それぞれ独立した方法で実現された各値のばらつきが、 $3\%(\pm 1.5\%)$ 以内であったことから、それぞれの方法の確度がこの範囲内にあると考えられる。

6. ま と め

波長253.7 nmの放射照度の値付け方法として、前回われわれが報告したシリコンホトダイオードの自己校正法にもとづく方法における、放射照度の値付けの確度を明らかにするために、(1)熱形検出器とフィルタを用いた差動フィルタ法、(2)黒体炉をもとに分光法により求める方法の2つの方法に対して、測定値の相互比較を行なった。

(1)と(2)の方法は、その放射の絶対量を国際温度目盛りにもとづく黒体放射から導く方法であるが、一次標準である標準黒体炉が異なることや、その値付けの経路が異なるため、その差が比較値に影響する。またシリコンホトダイオードの自己校正法にもとづく方法は、国際温度目盛りにもとづく黒体放射から独立した方法である。

今回われわれが提案したシリコンホトダイオードの自己校正法にもとづく値付け方法が、他の2つの方法とよい一致を示し、この方法が、波長253.7 nmの放射照度の値付け方法として、十分な確度をもつことが明かとなった。

また、3つの独立した方法による波長253.7 nmの放射照度の測定値がよい一致を示したことで、それぞれの値付け方法が十分な確度をもつことが明かになった。

以上、波長253.7 nmの輝線放射の放射照度測定について述べたが、今回検討したシリコンホトダイオードの自己校正法にもとづく放射照度の値付け方法は、ホトダイオードの相対分光応答度を精度良く求めることができる波長域であれば、どの波長でも可能である。今後さらに、現在放射照度標準の確度が明確でない他の波長、たとえば波長185.0 nm放射照度の値付け方法などについて検討していきたい。

最後に、本研究を行なうにあたりご協力いただきましたNISTのR. D. Saunders氏、埼玉大学の大谷文雄技官、本研究においてご指導、ご助言をいただきました松下電器産業㈱照明研究所の

成定康平顧問、梶原孝生所長、森田政明室長、西山英夫主任技師に感謝の意を表します。

参 考 文 献

- (1) 大久保和明、大野義弘：シリコンホトダイオードの自己校正法に基づいた253.7 nm放射の絶対測定 照学誌 **73**-10 (平元年) 619
- (2) 佐土根範次、森田政明：殺菌灯、ブラックライトの全放射束測定、照学誌 **44**-10 (昭35) 529~540
- (3) 中川、大谷、谷治、河合：253.7 nm放射照度(殺菌放射照度)の値付け、照学誌 **71**-10 (昭62) 646~650
- (4) Zalewski, E. F. and Geist, J.: Silicon photodiode absolute spectral response self-calibration, *Appl. Optics* **19**-8 (1980) 1214~1216
- (5) Geist, J., Zalewski, E. F. and Schaefer, A. R.: Spectral response self-calibration and Interpolation of silicon photodiodes, *Appl. Optics* **19**-22 (1980) 3795~3799
- (6) Wilkinson, F. J., et al.: The near Ultraviolet quantum yield of silicon, *J. Appl. Phys.* **54** (1983) 1172~1174
- (7) 大野義弘、西山英夫：シリコンホトダイオードの自己校正法におけるオキサイドバイアス特性の検討、照明学会全国大会 **45** (昭62)
- (8) 大野義弘、西山英夫：シリコンホトダイオードの絶対応答度の可視域における自己校正とその確度に関する検討、照学誌 **75**-6 (平3年) 80
- (9) 中川靖夫、大谷文雄：受光器分光感度の紫外・可視域での精密測定(1)、照学誌 **66**-10 (昭57) 436~444
- (10) 中川靖夫、大谷文雄：受光器分光感度の紫外・可視域での精密測定(2)、照学誌 **67**-10 (昭58) 514~519
- (11) 中川、大谷、谷治：熱形検出器の黒さと分光応答度、照明学会、放射の応用・関連計測研究会資料AR85-7 (昭60-6)
- (12) Walker, J. H., Saunders, R. D. and Hattenburg, A. H.: Spectral Radiance Calibrations, NBS Special Publication 250-1 (1987)
- (13) 鈴木、南条、羽生、長坂、上田、湊：紫外・可視・近赤外域における分光放射輝度・照度標準の確立、電総研報告742号 (昭48) 53~54
- (14) 三嶋泰雄：測光の工業標準に関する研究 電気試験所研究報告694号 (昭44) 31~32

(受付1990年10月11日)