

ふりがな	さとう あゆむ
氏名	佐藤 歩
学位	博士(工学)
学位記番号	新大院博(工)第187号
学位授与の日付	平成17年3月23日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当
博士論文名	高発光効率長寿命白熱クラスター光源の開発に関する研究

論文審査委員	主査	教授	関根 征士
	副査	教授	金子 双男
	副査	教授	大河 正志
	副査	教授	丸山 武男
	副査	教授	佐々木修己
	副査	教授	小椋 一夫

博士論文の要旨

白熱光源は動作温度が約 6,500K (ほぼ太陽の表面温度) のとき、発光効率が最高になる。一方、動作温度が高くなるに従って、フィラメントは昇華によるやせ細りが促進されて寿命が短くなる。現在、消費電力 100W の普通型白熱電球は動作温度が約 2,800K であり、寿命は約 1,000 時間、発光効率は約 16 lm/W である。

本研究のクラスター光源は、フィラメントではなく、動作温度 4,500K 以上のクラスター(金属原子の集合体)発光のため、①100 lm/W 以上の高発光効率と②数万時間の長寿命が期待され、③白熱発光のため、演色性(物体の色の見え方を決定する光源の性質)は最高である。

本論文は、高発光効率長寿命白熱クラスター光源の開発に関する研究をまとめたものであり、下記の 6 章により構成されている。

第 1 章では、今日、一般照明光源として使用されている白熱電球、蛍光灯及び HID (High Intensity Discharge) ランプについて、構造、発光原理、発光特性(発光効率、寿命、光色、演色性)が解説され、本研究の必要性が述べられている。

第 2 章では、放電空間内の微粒子発光を応用したクラスター光源について、その発光原理が理論的に論じられている。はじめに、金属ガスが過飽和状態にあり、球状の金属クラスターが生成されることを前提として、液滴核形成理論から金属クラスター生成に必要な飽和蒸気圧特性を算出した結果、タングステン (W) については、約 4000~5000 K の温度領域において W クラスターの生成条件を満たすことが明らかにされている。次に、クラスター光源の動作開始機構について、放電開始からハロゲンサイクルによるクラスター形成を経て、クラスター発光に至る過程が論じられ、発光管に封入する希ガスの封入圧と放電開始電界との関係式が導出されて

いる。また、クラスター形成材とクラスター形成補助材の封入比率の算定方法が論じられている。さらに、黒体の放射理論をもとに、クラスター光源の熱放射理論が展開されている。

第3章では、試作した多数の発光管の点灯実験を実施して、実験的にクラスター光源の発光特性が検討されている。試作発光管には、クラスター形成材として酸化金属、クラスター形成補助材としてハロゲン化物、放電ガスとして希ガスが封入されている。はじめに、クラスター形成材として数種類の酸化金属を用いた発光管の点灯実験の結果、酸化タングステン (WO_2)、酸化モリブデン (MoO_3)、酸化レニウム (Re_2O_7) を封入した発光管ではクラスター発光が確認されている。次に、クラスター形成補助材にハロゲン物質である塩素 (Cl)、臭素 (Br) およびヨウ素 (I) の化合物を用い、これらを封入した発光管の発光特性が評価されている。その結果、Wクラスター光源に最適なクラスター形成補助材は NaBr であることが述べられている。さらに、放電ガスにはネオン (Ne) を 99.9 %、アルゴン (Ar) を 0.1 % とした NeAr 混合ガスを用い、その封入圧を 21.3 kPa としたときに、放電開始電圧が最も低くなることが述べられている。

第4章では、クラスター光源の発光特性がクラスター形成材の複素屈折率によって決定されることから、クラスター形成材の複素屈折率の測定方法について議論されている。複素屈折率の測定にはエリプソメトリー (偏光解析法) を採用して、エリプソメータを設計・構築し、常温におけるバルク状タングステンの複素屈折率の測定から、測定の方法と手順、測定精度について検討されている。その結果、構築したエリプソメータによる複素屈折率測定では、表面含有成分比や表面形状に起因する試料表面のエネルギー反射率の微小な変化をも測定できることが明らかにされている。さらに、測定精度については、精密率で評価して約 1.0 % であり、この値はクラスター光源の発光特性を理論的に推定する場合に、十分高い精度であることが確認されている。

第5章では、エリプソメトリーによる複素屈折率の測定をクラスター光源に適用させるため、微粒子を試料とし散乱光の偏光を解析する散乱エリプソメータの構築とその測定精度が検討されている。常温において金微粒子の複素屈折率を測定した結果、その測定精度は標準偏差で評価して 0.02 以下であり、金属微粒子の複素屈折率測定に有効な手段であることが論じられている。また、散乱エリプソメトリーにより測定された複素屈折率は、クラスター光源の発光特性を理論的に推定する場合においても十分な精度であることが述べられている。

第6章では、高発光効率長寿命白熱クラスター光源の開発に関する研究が総括され、本論文で述べられている多くの研究成果はクラスター光源の実用化のために極めて有用であることが結論づけられている。

審査結果の要旨

ヒトはかつて、太陽の下で働き、日暮れと共に家路につき、燃える灯りの下で食して安らいだ。太陽の光は、昼には白く輝き、夕日は赤く、燃える灯りはさらに赤い。白く強い光は交感神経を活動亢進させて脳が活性化する「働きの光」である。一方、赤くほのかな光は副交感神経を活動亢進させて、心身が安らぐ「安らぎの光」である。そのため、蛍光灯の光は働きの光であり、白熱光は安らぎの光である。

発光効率と寿命が蛍光灯に匹敵する高効率長寿命白熱光源として、マイクロキャビティ光源とクラスター光源が期待されている。クラスター光源は、1993年、B. Weber (Philips Research Laboratories) らによって提案された。しかし、クラスター光源は、その発光原理が提案されてからの歴史が浅く、技術的に発展段階にあり、未だ実用化には至っていない。実用化のためには、ランプ内で発生する諸現象の理論解析と発光モデルの構築が必要であり、かつ、試作ランプの点灯実験によって、クラスター形成材や補助材の選定及び封入量の決定、さらには点灯装置の小型軽量化などの開発研究が必要とされる。

本論文は、高発光効率長寿命白熱クラスター光源の研究を行い、下記のような貴重な成果を上げている。

(1) 放電空間内微粒子発光を応用したクラスター光源の動作機構を解析した。金属ガスが過飽和状態にあり、球状の金属クラスターを生成することを前提とし、液滴核形成理論を基に金属クラスター生成に必要な飽和蒸気圧特性を算出した。その結果、タングステンについては、約 4000~5000 K の温度領域においてタングステンクラスターを生成する条件が満たされることを解明した。

(2) 試作した多くの発光管の点灯実験を行い、クラスター光源の発光特性を実験的に明らかにした。特に、種々のクラスター形成材と補助材を封入した発光管の点灯実験を行い、それぞれの発光特性を評価した。また、それぞれの発光管の測定データを比較・検討し、クラスター光源に最適な封入物質及びその封入量を決定した。クラスター形成材には WO_2 、 MoO_3 、 Re_2O_7 が適すること、W クラスター光源に最適なクラスター形成補助材は NaBr であること、放電ガスには NeAr 混合ガスが適し、その封入圧は 21.3 kPa が最適であることを実証した。これらの研究成果はクラスター光源の実用化に極めて有用である。

(3) クラスター光源の発光特性を理論的に推定するために必要不可欠なクラスター形成材の複素屈折率の測定方法にエリプソメトリーを提案し、エリプソメータを設計し構築した。そのエリプソメータにより、常温においてバルク状タングステンの複素屈折率を測定した結果、表面含有成分比や表面形状に起因する試料表面のエネルギー反射率の微小な変化をも測定できることを明らかにした。さらに、測定精度については、精密率で評価して約 1.0 % であり、この値はクラスター光源の発光特性を理論的に推定する場合に、十分高い精度であることを考察した。

(4) エリプソメトリーによる複素屈折率の測定をクラスター光源に適用させるため、構築したエリプソメータを金属微粒子の複素屈折率を測定する散乱エリプソメータに改良して、その測定精度の検討を行った。常温において金微粒子の複素屈折率を測定した結果、その測定精度は標準偏差で評価して 0.02 以下であり、金属微粒子の複素屈折率測定に有効な手段であることを検証した。

散乱エリプソメトリーでは金属微粒子の粒径も測定されるため、この測定方法をクラスター光源に応用すれば、発光管内の諸現象の解明においても有効である。

上記のように、本論文は光源の工学と工業の発展に寄与するところが大きく、よって、博士(工学)の博士論文として十分であると認定した。