

高気圧マイクロ波放電の小型高輝度光源への応用

メタデータ	言語: ja 出版者: 静岡大学大学院電子科学研究科 公開日: 2008-03-31 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 志藤, 雅也 メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/10297/1176

氏名・(本籍)	志 藤 雅 也 (静岡県) <i>しやうとう</i>
学位の種類	博 士 (工 学)
学位記番号	工博甲第 273 号
学位授与の日付	平成 18 年 3 月 24 日
学位授与の要件	学位規程第 5 条第 1 項該当
研究科・専攻の名称	電子科学研究科 電子材料科学
学位論文題目	高気圧マイクロ波放電の小型高輝度光源への応用
論文審査委員	(委員長) 教授 中 西 洋 一 郎 教授 永 津 雅 章 助教授 木 下 治 久 教授 神 藤 正 士

論 文 内 容 の 要 旨

近年、照明の分野では、発光効率が200lm/Wで数万時間の寿命を持ち、かつ水銀などの有害物質を含まないランプの開発が、大学や企業における研究開発の目標となっている。この背景には、消費電力に占める照明用電力の割合が高くなり、とりわけ発展途上国ではこれが50%を上回るなど無視できないレベルにあることが挙げられる。このため、省エネルギーと地球環境保全の観点から、高効率長寿命のランプの実現が切望されている。

高輝度放電ランプ(HIDランプ)の中でも、無電極放電ランプは、①電極との反応で使えなかった封入物を利用でき高演色性と高効率化が期待できる、②電極による熱損失が無くなるため高効率を期待できる、③放電管の構造が単純化され製造コストを軽減できる、④電極蒸発による管壁黒化が解消されて長寿命化が期待できる、⑤放電管容器と電極間のシールの問題が解消されて長寿命化が期待できる、⑥環境負荷物質の水銀を無くすことが容易である、等の数多くの利点があり、次世代の高機能ランプとしての可能性を秘めている。

現在、多くの研究機関で13.56MHzの高周波や2.45GHzのマイクロ波を用いた無電極放電ランプの開発が進められている。高気圧放電の発生と維持のために通常数100W以上の電力を必要とし、マイクロ波源にはマグネトロンが用いられる。ランプ点灯にはパラボリアンテナまたは空洞共振器が使われ、直径50mm以上の大型ランプを用い、マイクロ波漏洩を防ぐために点灯装置の開口部をメッシュで覆う必要がある。このため点灯装置が大きくなり、道路照明や自動車前照灯のような配光制御を必要とする場所での利用には適さない。また、マイクロ波源に使われるマグネトロンは振動に弱く、寿命も数千時間程度と短いために、ランプ用途には不向きである。

本論文は、高輝度で発光効率が高く長寿命である小型高気圧マイクロ波無電極放電ランプの開発

を目的として進めてきた研究成果を纏めたものである。第1章で高輝度放電ランプについての歴史と現状を簡単に述べた後、第2章で自動車用ランプの発展経緯と自動車前照灯用HIDランプの現状を紹介した。第3章では放電ランプの原理と無電極放電ランプの種類ならびに開発状況を紹介した。第4章ではマイクロ波回路や放電管など、本研究に関係する実験装置の概要ならびに光束や放電管温度の測定方法について述べた。この章以降は研究成果に関わる章である。第5章では基礎実験としてガスフロー型ランプの点灯実験結果を示した。この実験では、スロット型マイクロ波ランチャーから供給される数10Wの低電力マイクロ波により、数10Torrから大気圧までの広い圧力範囲にわたって空間的に一様なプラズマが生成されることを明らかにした。これは、放電管壁と高密度プラズマとの境界を伝搬する表面波がプラズマを生成していると考えられる。以上の実験結果より、スロット型マイクロ波ランチャーによるプラズマ励起法は無電極放電ランプに最適であると考えられる。

第6章はランプの実用化を念頭に置いて、キセノンガスと微量金属沃化物を封入した封じ切り型放電ランプの実験結果を扱っている。70Wのマイクロ波入射電力により、最高で光束3580lm、発光効率51lm/Wのランプ特性を得ることが出来た。発光効率が低い値に留まった原因の1つとして、放電管の管壁温度が低いために金属沃化物の蒸気圧を十分に高めることができなかったことが考えられる。

第7章では、放電管の発光効率が市販のHIDランプレベルに達しない要因を探る目的で、放電管内部でのパワーバランスの計算を行った結果を示した。これによると、熱放射損失が37.1%、マイクロ波ランチャーへの熱伝導損失が37.6%であり、発光に廻るパワーはわずか18.2%に留まる事が明らかになった。通常使用されている放電ランプでは50%程度であることから、封じ切り型放電管の発光効率が低い原因は熱放射と熱伝導損失にあると考えられる。

第8章では、自動車前照灯用HIDランプとして市販されている5気圧以上のキセノンガスを封入した電極付小型メタルハライドランプ(D2ランプ、D4ランプ)を、100lm/W以上のこれまでになく高効率、高輝度で点灯できた実験結果を紹介している。ランプ消灯直後に赤外線放射温度計により測定した放電管の管壁温度は約900℃であり、これは同様の手法で測定した封じ切り型放電管の管壁温度より200℃ほど低かった。これは、放電管中心部に突出している電極がアンテナとして働き、マイクロ波電力が直接ランプの中心部に供給されて高気圧ガスを電離してランプ点灯を実現していると考えられる。高気圧であるためにマイクロ波電力が放電形成のために効率よく消費され、高い発光効率が得られている。マイクロ波ランチャーとランプとの接触面積が少ないことや、プラズマ柱が容器壁から離れて形成されること、放電管形状が球状で表面積が小さいため熱放射損失が少ないことも高い発光効率の理由と考えられる。この放電管ではマイクロ波電力が100W以下で点灯できるので、長寿命の固体マイクロ波発振器を利用できる。これにより長期間にわたってメンテナンスが不要な点灯システムを実現できると考えられる。更に、ランプからのマイクロ波漏洩が無いため電磁遮蔽が不必要であり、配光制御性の良い高輝度点光源を実現できる。放電管を無電極化できるため、このランプ点灯法はメタルハライドランプだけでなく、サルファーランプ、クラスターランプ、紫外光ランプなど、種々の高輝度高効率ランプへの応用が可能である。最後に第9章では本論文の結論を述べた。

本研究で開発した放電管とその点灯システムは、自動車前照灯用として大きな需要が見込まれるほか、高輝度と長寿命である利点を生かして、屋外照明、危険地域・高所地域の照明、トンネル灯及び地下道路灯などにも需要が見込まれる。また、キセノンや重水素を大気圧程度の高気圧で封入すれば、エキシマランプや重水素ランプなどの紫外光源の実現も可能である。この小型紫外光源は、電子デバイス製造装置のリソグラフィなどに利用できるほか、医療用、蛍光体との併用による蛍光ランプへの応用が可能である。

論文審査結果の要旨

近年、世界的に照明用電力の伸びが著しく、消費電力に占める比率が急速に高まっている。このため省エネルギーと地球環境保全の観点から高効率長寿命のランプが切望され、水銀などの有害物質を排除した発光効率：200lm/Wで寿命：数万時間のランプの開発が大学や企業における研究開発の目標となっている。

本論文は、自動車前照灯用の小型高気圧マイクロ波放電ランプの開発を目的とした研究成果を纏めたもので、全9章で構成される。第1～4章においては、高輝度放電ランプの歴史と現状、自動車用ランプの発展経緯、高輝度放電ランプの原理、無電極放電ランプの種類と開発状況、ランプ諸特性の測定法、マイクロ波回路と放電ランプ製法など、放電ランプの研究開発に必要な事項を述べている。第5章以降は本研究の成果に関わる章であり、本研究で実施してきたガスフロー型ランプから封じ切り型小型無電極メタルハライドランプの実験結果を述べている。後者では数10Wのマイクロ波により数10Torrから大気圧までのランプ点灯が可能であるが、高い発光効率を実現するに至っていないことが述べられている。

低発光効率の要因を探る目的でランプ内部のパワーの流れを数値解析した結果が第7章で紹介され、熱放射損失とマイクロ波ランチャーへの熱伝導損失が高いことが明らかにされた。第8章では、これを参考として、アンテナによりマイクロ波電力を直接ランプ中心部に投入するアンテナ励起型高気圧マイクロ波放電ランプが有効と考え、自動車前照灯用放電ランプとして市販されている5気圧のキセノンガスを封入した電極付小型メタルハライドランプ(D2ランプ、D4ランプ)を用いた実験を行っている。この成果として、定常マイクロ波では135lm/W、マイクロ波パルスではさらに高い発光効率を得られたこと、ランプ壁温度は約900℃と低いこと、マイクロ波入射電力のおよそ50%が可視光に変換されること等が述べられている。これは、放電管中心部に突出している電極がアンテナとして働き、マイクロ波電力をランプ中心部に供給して効率の良いランプ点灯を実現していること、高気圧放電のため拡散が遅くプラズマ柱がランプ壁から隔離されて維持されること、が高効率の主要因であることを指摘している。また、このランプでは100W以下のマイクロ波で点灯できるため、長寿命の固体マイクロ波発振器を利用できる。これにより長期間にわたってメンテナンスが不要な点灯システムを実現できること、ランプからのマイクロ波漏洩が無いため電磁遮蔽が不必要となり配光制御性の優れた高輝度点光源を実現できること、が指摘されている。第9章で本論文の結論を述べた。

以上のように、本論文は、種々のランプを用いて実験を行い、最終的にアンテナ励起型高気圧マイクロ波放電が高輝度放電ランプに有望であることを明らかにしている。この成果は高輝度放電ランプの発展に大きく貢献するものであることから、本論文が博士(工学)の学位を授与するに相応しい内容を具備していることを認定する。