

博士學位論文

内容の要旨
および
審査結果の要旨

第22編

平成25年度

神奈川工科大学

は し が き

本編は、学位規則（昭和28年4月1日文部省令第9号）第8条によるインターネットの利用により公表を目的として、平成25年度内に本学において博士の学位を授与した者の、論文内容の要旨および論文審査の結果の要旨を収録したものである。

学位記番号に付した甲は、学位規則第4条第1項（いわゆる課程博士）によるもの、乙は、同規則同条第2項（いわゆる論文博士）によるものであることを示す。

（平成26年3月 発行）

< 目 次 >

乙第7号 後藤 みき 細管冷陰極低圧水銀ランプに関する研究 1

氏名(本籍)	後藤 みき (神奈川県)
学位の種類	博士(工学)
学位記番号	乙第 7 号
学位授与日	平成 26 年 3 月 22 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 2 項該当
研究科・専攻名	工学研究科 電気電子工学専攻
学位論文題目	細管冷陰極低圧水銀ランプに関する研究
論文審査委員	(主査) 神奈川工科大学 荒井 俊彦 教授 神奈川工科大学 下川 博文 教授 神奈川工科大学 黄 啓新 教授 神奈川工科大学 小室 貴紀 教授 千葉工業大学 伊藤 晴雄 教授

内容の要旨

冷陰極を用いた低圧水銀ランプは一般の照明用の熱陰極を用いたそれと比較して細管化できるという利点がある。この細管ランプ（内径 6mm 以下）は小型・薄型の液晶バックライト用光源、照明用光源や半導体プロセス用光源等に使用されている。しかしこのランプのプラズマの物性的な実験研究はほとんど行われていない。そして冷陰極ランプは電界電子放出によるため高い駆動電圧を必要とするので、スパッタリングにより電極寿命が短くなるという問題があり、低電圧で駆動するランプの開発が望まれる。本研究では、より高効率、長寿命の冷陰極を用いた低圧水銀ランプを開発することを目指し、細管冷陰極低圧水銀ランププラズマの励起・電離機構を実験的に明らかにすることと、ランプの高い駆動電圧を改善することを目的とする。

本論文は 7 章で構成されている。第 1 章は諸論で、1.1 節に低圧水銀ランプの歴史、1.2 節に冷陰極蛍光ランプ、1.3 節に細管冷陰極低圧水銀ランプの現状と問題点、および 1.4 節に本研究の目的と構成を示した。

第 2 章では、プローブ法により冷陰極低圧水銀ランプに用いられている細管 Ar-Hg プラズマの電子温度と電子密度を測定し、その結果について述べた。

低圧 Ar-Hg プラズマは照明用光源として応用され、比較的大きな管径の蛍光ランプ 36mm 管、コンパクト蛍光ランプ 12mm 管が開発された。これらの低圧水銀ランプのプラズマ計測や励起機構に関して多くの研究が行われてきた。一方、細管低圧水銀ランププラ

ズマの物性的な実験研究はほとんど行われていない。水銀蛍光ランプの最適 Hg 蒸気圧付近では階段電離が主要な過程と考えられるので、この細い管径の水銀蛍光ランプ用プラズマと一般の照明用水銀蛍光ランプである 36mm 管との間で相似則は成り立たない可能性がある。したがって、細管水銀ランプの電離機構と低電圧化を検討するには、各種パラメータを直接測定することが必要である。そこで本章では、プローブ法により細管低圧水銀ランプ 4mm 管の電離機構解明に必要な Ar-Hg プラズマの電子温度、電子密度を初めて測定した。その結果、電子温度と電子密度の管壁温度 (Hg 蒸気圧) 依存性の相対変化は、一般の蛍光ランプ 36mm 管で得られたものとはほぼ同じであるが、電子温度は約 2 倍高くなることを初めて見出した。

第 3 章では、改良型吸収法を用いて、Hg イオン密度、Hg, Ar 準安定原子密度を初めて測定し、プローブ法で得られた電子密度の結果と組み合わせて細管 Ar-Hg プラズマの電離機構を考察した。

改良型吸収法を用いて、このランプの電離機構に関連する粒子密度を初めて測定した。その結果、管壁温度が高い領域で、Hg⁺イオン密度、Hg 準安定密度は飽和の傾向を示し、Hg₂⁺分子イオンが存在していることを明らかにした。また Ar 準安定原子と Hg 原子との Penning 電離割合は管壁温度 30°C 付近で最大になることがわかった。

第 4 章では、細管 Ne-Hg プラズマの発光特性と放電特性に及ぼす Ar ガスの影響について述べた。

Ar-Hg, Ne-Hg プラズマでは管壁温度が低い領域では、Hg との Penning 電離が生じないとみられる。そこで Penning 効果を利用して Ne-Hg プラズマに Ar ガスを添加し、そのガスの添加割合を変えて発光特性および放電特性を測定した。その結果、Ne-Hg プラズマに Ar ガスを約 1% 添加することにより、Hg 紫外発光強度を増加することができ、ランプ電圧を低下することができた。

第 5 章では、細管冷陰極 Ne 放電中の放電開始電圧に及ぼす励起周波数の影響について述べた。

正弦波交流励起を用いると同じ放電条件で異なる 2 つの電極材料の放電特性を比較することができる。しかし放電休止期間がないので準安定原子が存在している可能性がある。

そこで細管冷陰極放電プラズマでの再点弧電圧の周波数特性を測定した。その結果、励起周波数 100Hz 以下のとき、再点弧電圧は放電開始電圧を示し、同一の放電条件で異種材料の放電特性を比較測定できることを明らかにした。さらに直流方形波パルス励起したランプの再点弧電圧の周波数特性から封入ガスの準安定原子の寿命を予測できることを示した。

第 6 章では、細管冷陰極ランプ用微小円筒電極内壁への MgO 膜作製とその電極の放電特性について述べた。

Ni 円筒電極内壁に二次電子放出率の高い MgO 膜を形成し、ランプ駆動電圧を低減する方法を提案した。そこで DC スパッタを用いて微小 Ni 円筒電極内壁に MgO 膜を形成する手法を開発し、MgO 膜付電極の放電特性を調べた。結果として駆動電圧が市販に用いられている Ni 電極のそれと比較して 60%低減できることに成功した。

第 7 章は結論で、本研究で得られた成果を要約している。

審査経過の要旨

1. 審査の経過

- (1) 2013年10月7日（月）指導教員荒井俊彦に対し学位論文が提出された。
- (2) 2013年11月8日（金）電気電子工学専攻会議にて予備審査の開始と審査委員が承認された。
- (3) 2013年11月30日（土）14:00-15:30 に、予備審査会が開催された。その際に出された各審査委員からのコメントを受けて論文の修正及び推敲を行うとの条件に、本請求論文は本審査に十分耐えうると判断され、予備審査は終了した。
- (4) 2013年12月18日（水）電気電子工学専攻会議における論文受理の可否投票の結果、論文受理を決定した。
- (5) 2014年1月10日（金）研究科委員会において提出論文の受理を決定し、研究科長より上記 5 名がその審査委員として指名された。
- (6) 2014年2月22日（土）14:00-15:20 に、公聴会を開催した。
- (7) 2014年2月22日（土）15:30-15:50 に、最終試験及び審査委員全員による審査委員会を開催した。審査期間中における各審査委員の個別審査、および公聴会での発表内容、質疑応答の内容に基づいて審査の結果、申請者は博士論文としての学術性、新規性、実用性を有すること、また申請者は博士の学位に相応しい学力、語学力を有していることを審査委員全員で確認した。
- (8) 2014年2月25日（火）電気電子工学専攻会議において学位授与を可とした。

2. 審査結果

冷陰極を用いた低圧水銀ランプは一般の照明用の熱陰極を用いたそれと比較して細管化できるという利点がある。この細管ランプ（内径 6mm 以下）は小型・薄型の液晶バックライト用光源、照明用光源や半導体プロセス用光源等に使用されている。しかしこのランプのプラズマの物性的な実験研究はほとんど行われていない。そして冷陰極ランプは電界電子放出によるため高い駆動電圧を必要とするので、スパッタリングにより電極寿命が短くなるという欠点を持っている。そこでランプの駆動電圧を一層改善することができれば実用的価値は極めて大きい。

本研究では、より高効率、長寿命の冷陰極を用いた低圧水銀ランプを開発することを目指し、細管冷陰極低圧水銀ランププラズマの励起・電離機構を実験的に明らかにすることと、ランプの高い駆動電圧を改善することを目的としている。

本論文は7章からなり、第1章は諸論で、低圧水銀ランプの歴史、冷陰極蛍光ランプ、細管冷陰極低圧水銀ランプの現状と問題点、さらに本論文の目的と構成を述べている。

第2章では、第3章以下の実験を行うための基礎データとして必要な細管低圧水銀ランプ（4mm 管）Ar-Hg プラズマ中の電子温度、電子密度をプローブ法により測定し、それらの結果を詳しく述べている。電子温度と電子密度の管壁温度（Hg 蒸気圧）依存性の相対変化は、一般の蛍光ランプ 36mm 管で得られたものとはほぼ同じであるが、電子温度は約2倍高くなることを見出している。

第3章では、吸収法により、 Hg^+ イオン密度、Hg、Ar 準安定原子密度測定の結果を用いて、細管 Ar-Hg プラズマの電離機構を考察している。細管 Ar-Hg プラズマの電離機構を定量的に明らかにするため、第2章で述べた電子密度測定に加え、吸収法により、電離機構に関連する粒子密度を直接測定している。その結果、管壁温度が高い領域で、 Hg^+ イオン密度、Hg 準安定密度は飽和の傾向を示し、 Hg_2^+ 分子イオンが存在していることと、Ar 準安定原子と Hg 原子との Penning 電離割合は管壁温度 30℃付近で最大になることが明らかになった。

第4章では、細管 Ne-Hg プラズマの発光特性と放電特性に及ぼす Ar ガスの影響について述べている。Ar-Hg、Ne-Hg プラズマでは管壁温度が低い領域では、Hg との Penning 電離が生じないとみられる。そこで Penning 効果を利用するため Ne-Hg プラズマに Ar ガスを添加し、そのガスの添加割合を変えて、発光特性および放電特性を調べている。その結果、Ne-Hg プラズマに Ar ガスを約1%添加すると、Hg 紫外発光強度が増加し、ランプ電圧が低下することを見出している。

第5章では、細管冷陰極 Ne 放電中の放電開始電圧に及ぼす励起周波数の影響について述べている。正弦波交流励起を用い、細管冷陰極放電プラズマでの再点弧電圧の周波数特性を測定から、同一の放電条件で異種材料の電極の放電特性を比較測定できることを明らか

にしている。さらに直流方形波パルス励起したランプの再点弧電圧の周波数特性から封入ガスの準安定原子の寿命を予測できることを示している。

第6章では、細管冷陰極ランプ用微小円筒電極内壁へのMgO膜作製とその電極の放電特性について検討している。Ni円筒電極内壁に二次電子放出率の高いMgO膜を形成し、ランプ駆動電圧を低減する方法を提案した内容について述べている。DCスパッタを用いて微小Ni円筒電極内壁にMgO膜を形成する手法を開発し、MgO膜付電極のランプ駆動電圧が市販に用いられているNi電極のそれと比較して60%低減できることに成功している。

第7章は結論で、本研究で得られた成果を要約している。

以上より、細管冷陰極ランププラズマ中における内部の電子、イオン、準安定原子状態を初めて明らかにし、そのプラズマの電離機構を定量的に解明し得たこと、また微小Ni円筒電極内壁にMgO膜層を形成することに成功し、このランプ駆動電圧が市販に用いられているNi電極のそれと比較して著しく低減できることを見出した。これらのことは、電気電子工学分野の基礎ならび応用の発展に貢献するところ極めて大きく、高く評価できる。

よって、本論文提出者は博士（工学）の学位を受けるに十分な資格を有するものと判定する。