

博士學位論文

内容の概要及び審査の結果の要旨

第 21 号

2018 年 6 月

光産業創成大学院大学

はしがき

本編は学位規則(昭和28年4月1日文科省令第9号)第8条による公表を目的として、2018年6月に本学において学位を授与した者の論文内容の概要及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)によるものであり、乙は学位規則第4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。

目 次

学位番号	学位の種類	氏名	論文題目	頁
甲第 39 号	博士(光産業創成)	松本直哉	レーザー生成プラズマを用いた高輝度紫外可視光源の点灯性向上と事業戦略に関する研究	3

氏名	松本直哉
学位の種類	博士(光産業創成)
学位記番号	甲第 39 号
学位授与年月日	平成30年6月22日
学位授与の条件	学位規則第 4 条第 1 項該当
学位論文題目	レーザー生成プラズマを用いた高輝度紫外可視光源の点灯性向上と 事業戦略に関する研究
論文審査委員	主査 特任教授 加藤義章 准教授 姜 理恵 助教 楠本利行 教授 藤田和久

論文の概要

本論文では、高輝度紫外可視光源であるターゲット方式レーザー生成プラズマ光源に関し、世界初となる実用装置の開発と、半導体検査装置市場における本装置販売事業戦略に関する研究の成果がまとめられている。

第 1 章では、研究の背景と目的が述べられ、半導体検査装置市場において必要とされている高輝度紫外可視光源の開発が、研究目的として記載されている。先ず従来技術がレビューされ、次いで高輝度光源実現手法が検討されている。特に、従来の方法より高いパワー密度を小さい領域に供給し、より高温で小さいプラズマを生成できるレーザー生成プラズマ光源に関し、先行製品と今後の市場ニーズが分析されている。その結果、先行製品では今後の市場が求める高輝度化への対応に限界があることが明らかにされている。

レーザー生成プラズマ光源に関し、本研究では、その限界要因の一つである発光封体の耐圧向上が可能なターゲット方式に着目している。これまでの研究では点灯用ターゲットの点灯性と耐久性の検討はあまりなされておらず、kW 級大型レーザーによる点灯、点灯毎での点灯用ターゲット交換など、実用には不十分なレベルに留まっていた。よって本研究では、①レーザー波長、②ターゲット構造、③ターゲット材料、の各項目について詳細に検討し、100 W 以下のレーザーパワーによる繰り返し点灯の実現、市場要求を満たす半導体検査装置用高輝度紫外可視光源の開発、及び更なる点灯性向上のための技術的指針の獲得が、目的として設定されている。

第 2 章では、新方式レーザー生成プラズマ光源の開発について記載されている。上記の研究目的に対し、①ターゲット材料に対し吸収率が高いレーザー波長の選択、②耐久性が高く加熱効率の良いターゲット構造の導入、及び③点灯性の良いターゲット材料の発見が実現され、目標値を超える最小出力 35 W の小型レーザーによる繰り返し点灯が達成されている。即ち、①ではレーザー波長の短波長化による光吸収の向上が図られ、②では円柱状の新たなターゲット構造による耐久性の向上、及びヒートダム構造が与える熱損失低減

による加熱効率の向上が実現され、③では低融点かつ低仕事関数のバリウム含浸タングステンターゲット材料として採用することで従来のタングステン製ターゲットに対し 1/3 以下の低いレーザーパワーでの点灯が実現されている。

また、本方式におけるプラズマ点灯の機構が、明らかにされている。分光分析や高速度画像解析に基づき、レーザーによるターゲット加熱によってターゲットから放出された易電子放出物質が、レーザー光を吸収して電子を放出し、放出電子がレーザー光で加熱されてキセノン原子をプラズマ化する過程が明示されている。これらから、点灯には低融点と低仕事関数をもつターゲット材料が有利であると推測され、更なる点灯性向上のための技術的指針が示されている。

以上の研究成果を踏まえ、世界初となる実用的ターゲット方式レーザー生成プラズマ光源装置の開発が記載されている。従来製品の 75 W キセノンランプと比べて 20 倍以上、他方式のレーザー生成プラズマ光源製品と比べて 2 倍以上の分光放射輝度が実現され、加えて小型化と優れた光出力安定性 (0.2% (peak to peak)以下) も達成されており、目標とした顧客セグメントの要求をすべて満たす装置の開発に成功している。

第 3 章では、開発した新製品のターゲット市場へのアプローチの方法について、戦略論に基づいた検討がなされている。申請者は、所属企業である X 社の課題として、自社開発の技術による製品の差別化にこだわる技術偏重の考え方が支配的で、顧客ニーズを聞き取ることや、顧客の視点・視野・視座で事業を構想できないという点を指摘している。この問題意識を起点とし、レーザー生成プラズマ光源の主要市場である半導体検査装置市場に対する事業戦略を、これまでとは異なるアプローチで検討することとしている。

当該検討は三段階で行われている。第一段階として、戦略論に関する先行研究を概観し、X 社がとるべきアプローチの理論的支柱を模索した。

第二段階として、半導体検査装置市場の動向を概観するとともに、その市場を代表する主要 3 社 (A 社・B 社・C 社) の戦略分析を行った。その結果、半導体検査装置市場で実行され、かつ有効と考えられる戦略は次の三つであることを明らかにした。即ち、①多額の研究開発費の投入に基づいた漸次的な技術の向上、及び製品開発と新製品・サービスの継続的な投入、②半導体製造装置との一貫性・連動性を高め、検査結果を正しく迅速に製造装置にフィードバックする能力を高めるための、半導体製造装置メーカーとの協働、③顧客ニーズを細かく聞き取るサポート体制の構築、である。更に、市場を牽引している A 社と C 社においては、半導体製造装置メーカーとの協働によるビジネスモデルの変革というユニークな戦略を実践していることが判明した。すなわち、両社は、従来の「半導体ウェハを検査するための装置」を販売するだけのビジネスから、「半導体製造全体のコンサルティング」までを一つのビジネス (事業分野) としているのである。

これらの先行研究レビューと他社分析を踏まえた上で、第三段階として、X 社がとるべき事業戦略の検討を行っている。本開発光源の事業戦略構築のアプローチとして、リソース・ベースド・ビューとポジショニング・ビューの両方の視点で戦略を立案できる 3 × 3 のマ

トリックスによる SWOT 分析を応用している。その結果、次の二つの戦略を導き出した。①主に自社の高い技術開発力と顧客との強い関係性という内部の強みと外部要因から導き出された、自社のみによる市場の一部を確保する戦略。②主に自社の体制と競合企業の強い特許技術という内部の弱みと外部の脅威から導き出された、レーザー生成プラズマ光源市場を現在独占している競合企業との業務提携や M&A により市場全体を確保する戦略。これらの事業戦略をより具体化するためにビジネスモデルキャンバスを作成し、二つの戦略のそれぞれの持続的競争優位性の有無とその範囲を検討している。

第 4 章では結論として本論文をまとめている。本研究では、高輝度紫外可視光源の研究開発と事業戦略の立案を通して、研究開発による製品開発と市場情報などの分析による事業戦略立案を一つのプロセスとして学術的に示し、この手法がレーザー生成プラズマ光源の他市場への展開や他の光源技術に基づく事業戦略の立案に際しても活用できるとしている。この点において、本研究は光産業創成に貢献するものと主張している。

審査結果の要旨

本論文は、半導体検査装置市場における新しい価値提供として、ターゲット方式レーザー生成プラズマを用いた高輝度光源の実現と、本装置販売の事業戦略に関する研究について述べている。

本研究の新規性は、これまでにない低パワーによる点灯の実現と、点灯メカニズムの解明、及び実用に耐えうる光源装置の実現である。低パワー点灯については、これまで研究レベルで限定的にしか利用されてこなかったターゲット方式レーザー生成プラズマ光源において、kW 級レーザーが点灯に用いられていたところを、最小必要パワー 35 W と小型レーザーによる繰り返し点灯を実現した点であり、高度な新規性が認められる。点灯メカニズムの解明については、分光分析や高速度画像解析により、レーザーによるターゲット加熱によって熔融池となった高温領域から放出された易電子放出物質が、さらにレーザーパワーを吸収することによって電子を放出し、放出電子がレーザー光を吸収してキセノン原子をプラズマ化している可能性を新たに示しており、新規性が認められる。実用に耐えうる光源装置の実現については、上市可能な性能を確保した製品の試作に成功し、かつ将来にわたって価値提供を持続できる可能性をもつターゲット方式を採用した点が評価でき、新規性も認められる。

低パワー点灯については、①レーザー波長の短波長化による光吸収の向上、②円柱状を採用した新たなターゲット構造による耐久性の向上、及びヒートダム構造が与える熱損失の低減による加熱効率の向上、及び③低融点かつ低仕事関数のバリウム含浸タングステン の採用、がそれぞれエネルギー効率向上に寄与し、低パワー点灯実現に導いている。

点灯メカニズムの解明では、レーザーによるターゲット加熱によって放出されたバリウム原子が、さらに加熱されてイオン化に至り、その後、充填ガスであるキセノンがイオン

化して点灯する過程を実験的に突き止めている。バリウム原子のイオン化、及びその後のキセノン原子のイオン化に寄与するエネルギーの流れはまだ解明されておらず、より詳細な原子過程の検討、及び実験的な解明が必要である。低パワー点灯の実現とともに、点灯には低融点と低仕事関数をもつターゲット材料が有利であるとの推測が示され、アルカリ土類金属や希土類酸化物などの他候補も提案され、更なる点灯性向上のための技術的指針も得たことは、今後の技術発展性及びそれに基づく製品提供による価値持続性の観点から評価できる。

実用に耐えうる光源装置の実現については、以上の基礎的研究の成果が大きく寄与している。加えて、研究開始時における顧客セグメントの設定とその要求を予め明らかにして目標設定したことが、効率的な基礎研究と装置開発を可能にしたと考えられ、適切な時期における市場との対話に基づく効率的な研究開発のモデルとして評価できる。

このような新たな技術開発とあわせ、第3章では、その新製品のターゲット市場へのアプローチの方法について、戦略論に基づき検討を行っている。導き出された事業戦略は、顧客の視点を考慮し、かつ、競合企業が持つ外部資源の活用を具体的に明示した点において、X社に対し新たな示唆を与えたと言えよう。また、ここで提示された事業戦略は実現可能性も高いと評価できる。

以上の各論を含めた本研究全体を通し、評価点をさらに三つ挙げることができる。

第一は、光産業機器の技術的な研究開発をベースにしなが、市場情報分析によって戦略を立案するプロセスを具体的に示した点であり、光産業創成に貢献するものである。研究開発した技術を用いて新しい光源装置を開発し、更に、技術開発だけでは克服できない要素を見出し、それらに基づいた製品戦略及び事業戦略を検討し、その立案までを実践している。

第二は、今後光産業を更に発展させていくために、申請者がX社に所属する者としていかに変化していくべきかを真剣に考えている点である。製品開発と並行して事業戦略を立案することにより、常に顧客を意識した開発が可能となり、技術偏重のものづくりから脱却することの必要性を繰り返し述べていることがその証左と言えよう。

第三は、現場のエンジニアやミドルマネジメントも、製品戦略・事業戦略だけではなく、経営戦略まで含めた広い視野に立った戦略の立案が可能であることを示した点であり、その意義は大きい。

公聴会において申請者は、本学位論文に関する技術面及び経営面に関する多様な質問に対し、明瞭且つ的確に応答を行った。審査委員会では、本研究で開発された新光源技術が高く評価されるとともに、技術開発と事業戦略立案の一体的な実行が光産業創成の重要なアプローチであると評価された。

以上により、本論文は光産業創成に貢献する高度な研究であると評価し、本学の学位規則及び関連する内規等の基準を満たしていることを確認し、審査委員全員一致をもって博士（光産業創成）の学位を授与するに値すると判定する。