

戦略的創造研究推進事業 ACCEL

研究開発課題

「フォトリソグラフィ結晶レーザーの高輝度・高出力化」

研究開発終了報告書

研究代表者 氏名 野田 進

プログラムマネージャー 氏名 八木 重典

1. 研究開発成果

1-1. 実施概要

本 ACCEL プログラム全体の目標は、半導体レーザ分野における独創技術「フォトニック結晶面発光レーザ (PCSEL)」を高輝度・高出力化し、光製造の産業分野に適用できるレベルにまで発展させることである。そのための POC (Proof of concept) として、10W 級の高ビーム品質・高出力動作可能な単体デバイス開発、および 100W 級動作可能な合波モジュール技術開発を目指すとともに、社会実装/実用化に向けた検討を行った。以下、これまでの主な成果について纏めて述べる。

- (i) PCSEL 単体デバイスに関しては、10W 級の高ビーム品質・高出力動作を目指し、デバイス技術開発と実装技術の開発を行った。デバイス技術に関しては、第一段階から第五段階へとフォトニック結晶構造を進化・発展させ、最終的に 10W 級の高ビーム品質動作 (ビーム品質指数 $M^2 < 2$) 可能なデバイス技術の開発に成功した。ここでのポイントは、第一段階では、フォトニック結晶構造が、非対称シングルホール構造であったものを、ダブルホール構造へと展開させ、ダブルホールのそれぞれの形状や段差等を制御することで、デバイスサイズを 200 μm 、300 μm 、500 μm 、800-1000 μm と拡大させても、基本モードで動作可能になることを理論的・実験的に見出すことに成功したことにあたる。さらに、本デバイスの放熱実装技術に関しても、パッケージの設計、サブマウント・半田材料の探索、さらに、ボンディング技術を深化させ、52 W/mm² 程度の発熱が存在しても、活性層温度を一定温度 (55°C 程度) 以下に保ちうる、実装技術を実現した。このような実装技術を活用し、さらに DBR 集積構造を導入するなどデバイス構造のさらなる進化を図り、高出力 (~7W) 連続動作を実現することに成功した。
- (ii) PCSEL デバイスの合波モジュール開発に関しては、その方式の検討および合波モジュールの試作・評価を実施した。PCSEL-ファイバ結合条件の最適化を実現し、高効率かつ高集束なファイバ伝送技術を確立した。並列空間合波方式の合波モジュールにおいては、7 合波時ビーム品質 $M^2 = 5.5$ (予測値 $M^2 < 6$)、合波効率 90% を実現し、並列空間合波モジュールの試作に成功した。更に $M^2 = 1.5$ 対応のファイバコンバイナ方式において 7 合波時ビーム品質 $M^2 = 8.4$ (予測値 $M^2 < 9$)、合波効率 95% の実現に成功し、加工に適したビーム品質での 100W 級合波モジュールの技術開発に成功した。
- (iii) 研究成果の社会実装/実用化に向けて、上記 PCSEL 単体デバイス開発と合波モジュール技術の開発とともに、知財権活動や光加工に向けた応用およびその他の応用検討を重要項目として位置づけ、取り組んだ。社会実装/実用化に向けて、将来、知財権の帰属問題が障害とならないように、知財権成果共有のルール整備を行い、共同研究契約書により成文化した。また本研究プロジェクトの成果を社会へと広く発信し、PCSEL のユーザ企業を巻き込んだ社会実装へと繋げるべく、高ビーム品質・高出力レーザによる光加工に向けたデモンストレーションの第一歩として、ワット級 PCSEL を用いた燃焼実験を行った。この様子 (動画) は、NHK ニュースでも取り上げられるなど、社会の注目を集めた。また、本研究の成果は、加工用途 (光製造) およびそれ以外の用途にも期待されるところが多いため、応用市場について検討の機会を設けた。具体的には、全グループ参加の 応用検討 Workshop を計 6 回開催し、前半の 4 回は半導体レーザ市場、加工応用市場の分析や、他の市場応用について基礎検討をした。さらに、加工用途及びそれ以外を含む出口についても広く検討すべく、外部シンクタンクを活用し、照明・計測・ライフサイエンス・運輸など他の市場への応用可能性について市場調査を実施し、適用可能と思われる市場分野と、その規模について将来予測を行った。

後半の2回の応用検討 Workshop では、参加企業における開発継承、さらには事業化の意欲を確認し、コストを含む製品化の初期検討を行った。なお、本研究開発の成果の一部の本格的な社会実装を2014年に開始し、小ロットの量産も受注できる段階に来ている。

2. 社会実装／実用化に向けた取組

2-1. 実施概要

本 ACCEL プログラム全体の目標は、半導体レーザ分野における独創技術「フォトリソ結晶面発光レーザ (PCSEL)」を高輝度・高出力化し、光製造の産業分野に適用できるレベルにまで発展させることである。そのために、10W 級の高ビーム品質・高出力動作可能な単体デバイス開発、および 100W 級動作可能な合波モジュール技術開発を目指した研究開発を推進するとともに、社会実装／実用化に向けた知財権活動や光加工に向けた応用およびその他の応用検討を重要項目として位置づけ、必要な取り組みを行ってきた。以下に、社会実装／実用化に向けた取り組みに関して、その概要を纏める。

- ・ PCSEL 技術を社会に適用・実装していくためには、まずは、参加企業自らが、研究開発成果をさまざまな分野での製品化へと発展させていくことが重要である。本研究プロジェクトは、京都大学と浜松ホトニクス、ローム、三菱電機の各企業が共同で遂行しているため、大学と各社が結集して、相互に高度で深い議論ができるように、知財権の帰属問題が障害とならないような仕組み作りを行った。従来の大学および複数社からなる産学共同プロジェクトにおいては極めて困難であった知財権成果共有のルール整備を行い、共同研究契約書により成文化した。
- ・ 本研究プロジェクトの成果を社会へと広く発信し、PCSEL のユーザ企業を巻き込んだ社会実装へと繋げるべく、高ビーム品質・高出力レーザによる光加工に向けたデモンストレーションの第一歩として、ワット級 PCSEL を用いた燃焼実験を行った。この様子（動画）は、NHK ニュースでも取り上げられるなど、社会の注目を集めるに至った。
- ・ 本研究の成果は、加工用途（光製造）およびそれ以外の用途にも期待されるところが多いため、応用市場について検討の機会を設けた。また、第三者からアイデアで知財権を抑えられるリスクを回避することも重要であるため、必要に応じて知財権化を進めた。具体的には、全グループ参加の応用検討 Workshop を計 6 回開催し、前半の 4 回では、半導体レーザ市場、加工応用市場の分析や、他の市場応用についての意見交換を行うとともに、応用案や事業化についての基礎検討をした。さらに、加工用途及びそれ以外を含む出口についても広く検討すべく、外部シンクタンクを活用し、照明・計測・ライフサイエンス・運輸など他の市場への応用可能性について市場調査を実施し、適用可能と思える市場分野とその規模について将来予測を行った。後半の 2 回の応用検討 Workshop では参加企業における事業化の意欲を確認し、コストを含む製品化の概略検討を行った。なお、本研究開発の成果の一部の本格的な社会実装を 2014 年に開始し、小ロットの量産も受注できる段階に来ている。

以上、社会実装／実用化に向けて必要な取り組みを順次行った。