

# SPIE Photonics West

大阪大学 接合科学研究所 レーザプロセス学分野  
特任研究員 東野 律子  
(2023 年度 国際会議等参加助成 AF-2023246-X1)

キーワード：青色半導体レーザ，銅合金，クラディング

## 1. 開催日時

2024 年 1 月 28 日～2 月 1 日

## 2. 開催場所

米国カリフォルニア州サンフランシスコ Moscone Center

## 3. はじめに

2024 年 1 月 28 日～2 月 1 日に米国・サンフランシスコ Moscone Center にて国際会議 Photonics West2024 が The International Society for Optics and Photonics (SPIE) 主催で開催された。COVID-19 パンデミックにより海外に出向くことが難しい時期が続いたが本年は完全対面式で開催され、貴財団からの助成によりサンフランシスコの地に向かい PhotonicsWest2024 に参加することができた。本会議は LASE、BiOS、OPTO、Quantum West の 4 つの会議に加えて LASE、BiOS、Quantum West の 3 つの展示会も開催され非常に密度の濃い時間を過ごすことができた。主に LASE の会議及び展示会に参加し、研究内容である「Influence of zinc content variation of Cu-Zn alloy powder on film formation by the method of multibeam laser metal deposition using blue diode lasers」について講演し多くの技術者と議論することができた。併せて近年の青色半導体レーザの世界の最新の技術動向を収集することができた。以下に会議参加報告を記す。

## 4. 研究発表報告

本会議では青色半導体レーザのアプリケーションの一つとして Cu-Zn 合金の皮膜形成について成果発表を行った。

[発表概要]

銅は熱伝導性や電気伝導性などに優れているため、自動車産業や電気産業などのさまざまな産業に広く応用されている<sup>1)</sup>。また、銅は抗菌性やウイルス不活化性などの優れた性質を持っているため、感染症予防のために多くの人が触れる手すりやドアノブなどへの使用も期待されている。しかし、銅は他の材料に比べて強度が低いため、強度を保ったまま表面にウイルス不活化性という新たな機能を付加するには、表面に銅皮膜を形成するコーティング技術の開発が必要である。そこで積層造形法の一つであるレーザーメタルデポジション (LMD) に着目して研究を行い、銅への皮膜形成を行ってきた。また純銅は光吸収率が低いため、従来の材料加工用レーザを使用して加工す

るのは困難である。銅の光吸収率は光の波長に大きく依存し、波長が短いほど吸収率が高くなることが知られている<sup>2)</sup>。そこで、波長 450 nm の青色半導体レーザに着目し、高輝度青色ダイオードレーザを用いたマルチビーム型 LMD 法を開発した。また、青色半導体レーザ搭載 LMD システムにより SUS304 ステンレス鋼上に純銅皮膜形成を実証した<sup>3~7)</sup>。しかし、銅は空気中での酸化により表面が黒くなりやすいことが課題である<sup>8)</sup>。そこで銅に亜鉛を添加して耐変色性を向上させた銅合金コーティングを試みた。その結果、レーザの出力密度や速度などの最適条件を設定して銅合金層をコーティングできることが判明した。しかし、それには銅と亜鉛を正確に制御する必要がある。銅と亜鉛の融点を比較すると、銅は 1060 °C、亜鉛は 420 °C、亜鉛の沸点は 900 °C であり 亜鉛は純銅よりも融点が低いため、より容易に溶解し、低出力で銅合金皮膜を形成する。本研究では、異なる重量%の Cu-Zn 粉末を使用して SUS304 ステンレス鋼上に銅皮膜を形成し、亜鉛濃度の違いによる銅皮膜形成の出力閾値を調査した。その結果亜鉛濃度が多くなることにより、低い出力で皮膜形成できることがわかった。さらに亜鉛の添加量が及ぼす皮膜形成への影響について調査し学会参加者らとディスカッションを行った。

[まとめ]

青色半導体レーザは、銅は勿論のこと銅以外の材料に対しても吸収率が高く材料加工に適したレーザである。しかし他の研究機関では青色半導体レーザ光源に関する発表はなされていないのが現状である。そのような中、世界に先駆けて一足早く青色半導体レーザのアプリケーション技術に着手した。本会議でアプリケーションの一つとして Cu-Zn 合金の皮膜形成についての研究成果を発表・議論することで青色半導体レーザの優位性を世界に向けて発信することができた。様々な分野の研究者が青色半導体レーザを用いた銅合金の皮膜形成について興味を持って質問をして下さり、非常に活発なディスカッションを行うことが出来た。

## 5. 青色半導体レーザ関連技術動向調査報告

5・1 青色半導体レーザ関連会議 (High-Power Diode Laser Technology XXII より「Blue Laser Diode Modules and Systems」)

本会議では、会議初日に高出力青色半導体レーザに特化したセッションが設けられており、高出力青色半導体レーザを用いた加工技術や青色半導体レーザモジュールにつ

いて議論がなされたので、その中から特に興味をもった講演について記述する。

1) Panasonic Holdings Corp. [Japan] から「High-efficiency processing of copper materials with pulse-driving mode using high-brightness blue laser oscillator」と題して青色半導体レーザーシステム開発及びシステムを用いた銅溶接への適用について紹介があった<sup>9)</sup>。同社製の青色半導体レーザーシステムは500 Wモジュールを4台波長合波して出力2 kW、BPP 3.2 mm\*mrad、ファイバーコア径100 μmを達成したとのことである。Multi-stage スwitching法と呼ばれる方式を採用した大電流パルス電源を搭載し、繰り返し周波数10kHz、立ち上がり時間4.2 μs、立下り時間0.8 μsでの動作を実現した。本方式を採用したシステムで銅溶接を行うと、Duty14%、パルス幅57 μsの時にアスペクト比(溶け込み深さ/溶接幅)は3.3となり、CWレーザーで溶接するとアスペクト比は0.95となり、アスペクト比を3倍以上向上させることができたとの発表があった。

2) Furukawa Electric Co., Ltd. [Japan] から「High power blue laser and copper welding with near-infrared fiber laser」と題して青色半導体レーザーとファイバーレーザーのハイブリッドシステムの続報が報告された<sup>10)</sup>。同社は2021年に1 kW青色レーザーと3 kW近赤外線ファイバーレーザーをハイブリッドさせた溶接用システムを紹介した。本年は青色半導体レーザーの高輝度化を行い、ハイブリッド溶接システムをアップデートさせたと紹介した。開発した青色半導体レーザーは以下の2種類①コア径110 μm出力500 Wのダイオードモジュール7本をコンパインングし、コア径300 μm、出力Max2.2 kWのシステム②出力500 Wのダイオードモジュール3本をコンパインングし、コア径200 μm、出力1.1 kW、の2種類である。この青色半導体レーザーを使ったハイブリッドシステム(BRACE®X)で溶接実験を行なった。青色半導体レーザー1.0 kW、近赤外線レーザー3.0 kWを搭載したシステムでは溶け込み深さ2.6 mm、ビード幅1.2 mmを実現した。また青色半導体レーザー2.0 kW、近赤外線レーザー6.0 kWを搭載したシステムでは、溶け込み深さ5.0 mm以上、ビード幅1.5 mmを実現したと紹介した。

3) BWT Beijing Ltd. [China] から「Manufacturing and reliability analysis of high brightness blue lightsemiconductor laser」と題して青色半導体レーザーモジュールの開発及びモジュールを結合して開発した高輝度青色半導体レーザーシステムの紹介が行われた<sup>11)</sup>。同社では波長451nm・出力5.5W、48個をT0パッケージ化した青色LDを偏光および光ファイバー結合でコア径105 μm NA0.22にファイバー結合した。結合効率は90%超、電気エネルギー変換効率は35%超となり、最大出力は250 Wを達成した。また複数のモジュールから、コア径600 μm、NA0.22、出力2 kWの高輝度加工システムを開発した。本システムは医療用としての利用や3Dプリンター、溶接などに応用展開できるとのことである。

## 5・2 展示会

PhotonicsWest 会期中同時開催された展示会では1500社を超える各国の企業が出展していた。展示会はLASE、BiOS、Quantum Westの3つに分けられ連日賑わいを見せていた。今回は特にLASEの展示会を中心に情報収集を行った。青色半導体レーザーに関する出展をしている企業も数多くみられたが金属加工用としての用途は少なく、低出力での照明等の紹介が多くみられた。展示会の中で特に気になった展示内容について紹介する。

1) 半導体レーザーチップを取り扱う BLUGLASS [Australia/USA]からはGaN Laser diodeの紹介がされていた。同社はバイオレット、ブルー、グリーン等幅広い波長帯域(397 nm、405 nm、420 nm、450 nm、470 nm、488 nm シリーズ等)のラインナップがある。特に青色素子(450 nm)はマルチモードで1.6 W~3.5 W、シングルモード250 mWの出力が可能であるとのことである。

2) 中国企業の出展が近年日本国内の展示会でも目立つようになってきており、Photonics Westにおいても例外ではなかった。今年新たに青色半導体レーザーチップを扱う中国の企業 HAN'STECS [China]より405 nm/450 nm帯域の青色半導体レーザーモジュールが展示されていた。特に450 nmではコア径100 μmで出力50 W/100 Wシリーズと200 μmで出力150 Wの2タイプがあり、溶接、クラディング、3Dプリンターなどへの用途に使用できるとのことである。

3) 前項会議報告でも紹介した BWT Beijing Ltd. [China]から100~200 W コア径105 μm、NA0.22 青色半導体レーザーモジュールの展示があった。また本モジュールを組み込んで2 kW 青色半導体レーザーシステムを組み上げてシステムの展示がされていた。

なお昨年度青色半導体レーザーの新規ラインナップを大々的に出展して会場の注目を集めていた米国 NUBURU 社と Panasonic+TERADIODE からは本年度新たな出展はみられなかった。

青色半導体レーザーに関してはLiDARや照明などが多く、金属材料への加工用としてはまだまだ少ないように感じたが、新たな企業の参画や中国企業の参入等今後引き続き動向を調査していく必要があると感じた。

## 6. まとめ

本格的に対面で開催された本会議はコロナ禍前の活気を取り戻し、会議中は勿論のこと、休憩時間にもコーヒーを片手に時間を惜しむようにディスカッションをする姿が見受けられた(図1)。私自身も会議と展示会とを分単位で会場を走り回りたくさんの人とディスカッションしたり講演を聞いたり実機に触れたり非常に充実した時間を過ごすことができた。かわいい犬のキャラクターで有名なソーラボ社が主催するイベントでは会場内の一角に設置された犬と触れ合えるコーナーが人気を集めていた。「ソーラボ社のキャラクターとこのワンちゃんとそっくりだね。この子がモデルになっているのかもね。」などと犬

を囲んで楽しい会話をしながら会議のひと時にほのぼのとした時間を与えてもらいながら見知らぬ研究者との距離を縮めることができた (図2)。

世界の研究者が集まる本会議で青色半導体レーザのアプリケーションの一つとして「Cu-Zn 合金の皮膜形成技術」についての新たな成果を示し、青色半導体レーザの優位性を発信できたこと、また世界の最新の技術動向を情報収集する機会を与えられたことに深く感謝する。本経験を活かし今後さらに世界の科学技術の発展・青色半導体レーザの社会実装に貢献できるよう研究活動に精進していく所存である。



図1 ディスカッションする人たちが賑わう学会会場の様子

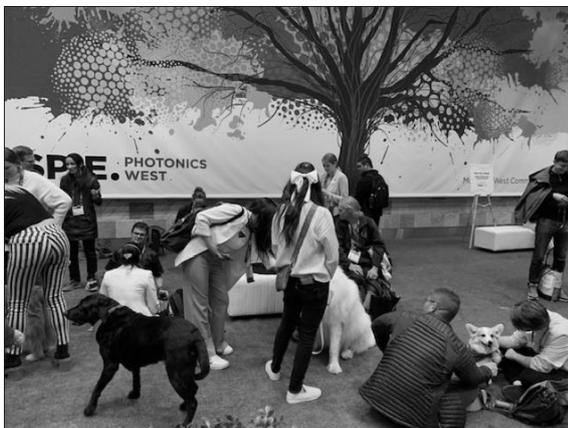


図2 会場内に設けられたイベント風景

## 謝 辞

本研究を実施するにあたり高出力青色半導体レーザは日亜化学工業、銅合金粉末の開発では三井金属工業の支援を頂きましたことに深く感謝申し上げます。

また、本国際会議参加にあたり、公益財団法人天田財団 2023 年度 国際会議等参加助成して頂いたことに深く感謝申し上げます。

## 参考文献

1) C. Yao, B. Xu, X. Zhang, J. Huang, J. Fu, and Y. Wu, “Interface microstructure and mechanical properties of

laser welding copper–steel dissimilar joint,” *Opt. Lasers Eng.* 47, 807–814 (2009).

- 2) The Laser Society of Japan, “Laser Handbook” 2nd Edition Ohmsha pp.830.
- 3) Kohei Asano, Masahiro Tsukamoto, Yoshinori Funada, Yu Sakon, Kento Morimoto, Yuji Sato, Shinichiro Masuno, Takahiro Hara, Hiroshi Nishikawa: “Development of multi-laser beam irradiation method for precision metal cladding”, *The Review of Laser Engineering*, Vol.46, No.10 pp.604-613.
- 4) Y. Sato, M. Tsukamoto, T. Shobu, Y. Funada, Y. Yamashita, T. Hara, and N. Abe, “In situ X-ray observations of pure-copper layer formation with blue direct diode lasers,” *Appl. Surf. Sci.* 480, 861–867 (2019).
- 5) T. Hara, Y. Sato, R. Higashino, Y. Funada, T. Ohkubo, K. Morimoto, and M. Tsukamoto, “Pure copper layer formation on pure copper substrate using multi-beam laser cladding system with blue diode lasers,” *Appl. Phys. A: Mater. Sci. Process.* 126, 418 (2020).
- 6) New Energy and Industrial Technology Development Organization, New Energy and Industrial Technology Development Organization: “Development of a blue diode laser hybrid multi-tasking processing machine capable of copper coating at 6 times the speed of conventional machine - Expected to be used for the realization of a public health environment by reducing the risk of bacteria and viruses-”
- 7) Keisuke Takenaka, Yuji Sato, Kazuhiro Ono, Yoshinori Funada, and Masahiro Tsukamoto “Pure copper layer formation on stainless-steel and aluminum substrate with a multibeam laser metal deposition system with blue diode laser” *Journal of Laser Applications* 33, 042033 (2021)
- 8) Y.Sato, Y.Morimoto, K.Ono, K.Takenaka, T.kamata, M.Heya, M.Tsukamoto “Copper alloy layer formation with multibeam type laser coating with blue diode lasers” *IEEJ Transactions on Electrical and Electronic Engineering* vol 10 p. 1075-1080(2022)
- 9) Mitsuoki Hishida et.al. : High-efficiency processing of copper materials with pulse-driving mode using high-brightness blue laser oscillator , *Proceedings Volume High-Power Diode Laser Technology XXII*, 1286709 (2024) <https://doi.org/10.1117/12.3002341>.
- 10) Taisuke Atsumi et.al. : High power blue laser and copper welding with near-infrared fiber laser, *Proceedings Volume High-Power Diode Laser Technology XXII*, 128670A (2024) <https://doi.org/10.1117/12.300224>.
- 11) Wei Ma et.al. : Manufacturing and reliability analysis of high brightness blue light semiconductor laser, *Proceedings Volume High-Power Diode Laser Technology XXII*, 128670D (2024) <https://doi.org/10.1117/12.3005603>.