

博士學位論文

内容の概要及び審査の結果の要旨

第 18 号

2016 年 9 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 文部省令第 9 号)第 8 条による公表を目的として、2016 年 6 月に本学において博士の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 35 号	博士（光産業創成）	西村靖彦	超高強度レーザーを用いた 機能性材料の改質に関する 研究～超高強度レーザーを 利用した受託開発事業の創 出を目指して～	3

氏名	西村靖彦
学位の種類	博士(光産業創成)
学位記番号	甲第35号
学位授与年月日	平成28年9月16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	超高強度レーザーを用いた機能性材料の改質に関する研究 ～超高強度レーザーを利用した受託開発事業の創出を目指して～
論文審査委員	主査 准教授 石井勝弘 准教授 内藤康秀 准教授 森 芳孝 特任教授 北川米喜

論文の概要

本論文は、自動車産業にとって有用な燃料電池センサーや触媒部品のより多機能化、高効率化のために、その主要な材料たるセラミックスとグラファイトの品質改良を新しい手法で試みようとする研究である。その新しい手法は、著者が年来携わってきた超高強度レーザーを用いることである。このことはまた、超高強度レーザーの産業界への展開が図れるか否かの新しい挑戦的な試みでもある。副題はそのことをいう。

論文の主要な成果は、超高強度レーザー駆動衝撃波で、これらの材料のうち単結晶イットリア安定化ジルコニア表面から深さ方向に階層状に微細構造が形成できることと、レーザー照射面から100 μm の深さに4層（結晶サイズが数十nmから数 μm の4層構造）からなる多結晶が形成されることが、初めて明らかとなったことである。今までナノ秒パルスレーザーによる材料改質で、照射部の詳細な構造変化を観測したものはない。さらに、照射強度に依存して、残留応力が引力状態、張力状態でそれぞれ凍結されることを実証したことも論文の成果である。この高圧力自体は、従来技術では発生させることはできない。フェムト秒レーザー（ピーク強度 $10^{16}\text{W}/\text{cm}^2$ ）表面改質は、既発表のものは金属を対象にしており、セラミックス系材料およびグラファイト系材料については報告がない。これらの成果は主論文として英国専門誌Journal of Physics D: Applied Physics に掲載された。さらに、ここで試みた同一のレーザーによりそのピーク強度を $10^{17}\text{W}/\text{cm}^2$ から $10^{12}\text{W}/\text{cm}^2$ までの5桁にわたる広範囲で変化させた照射は、世界で初めての試みであり、5桁にわたる照射強度範囲での系統的な観測が可能となった。従来の超高強度レーザーでの研究範囲をはるかに超えて、産業応用の可能性を探索するためである。グラファイト系材料については、高配向熱分解黒鉛に $10^{12}\text{W}/\text{cm}^2$ から $10^{14}\text{W}/\text{cm}^2$ までの超高強度レーザーを照射したところ、その最表面層には、数nm からサブ μm サイズの波状構造を有したアモルファス構造体が観測された。これらは、解析方法として光学顕微鏡のみならず、大型シンクロトロン光源を駆使しX線回折、および、ラマン顕微分光を行った結果である。シ

ルコニアはその高温域での高いイオン伝導度から自動車用燃料電池や酸素センサーなどに使用されており、本研究で実証した微細構造付与は強度の増加につながる。グラファイトは、熱伝導性、導電性、耐熱性が良く、軽くて加工が容易なことから、半導体、電機、自動車、航空宇宙などの産業の電極材料として使用されており、本研究で実証した微細構造付与は発電効率の向上と用途の多様化の可能性が広がる。

最後に研究成果を基にした超高強度レーザーを利用した受託開発事業の創出を目指し、「超高強度レーザーを利用した受託開発事業」と「計測支援事業（超高強度レーザーを利用した機能強化）」の二つの新たな事業を企画した。前者の事業は本論文研究成果を継承する事業で、現在「新たなターゲットインジェクション装置開発」を受託していることを述べた。後者の事業はコンセプトを示し、展開するフィールドをグループ会社としたビジネスである。また、本論文研究成果の記者会見を行い、著者等研究グループが超高強度レーザーを用いた産業応用を目指した研究を実施していることを産業界にアピールし、受託開発事業を促進させたことに言及した。

審査結果の要旨

本論文は、超高強度レーザーの自動車産業への貢献を図るべく、一貫して超高強度レーザーをセラミックスやグラファイトに照射し、その材料の機能性の改変を推進すべく研究を進めた成果を述べたものである。

超高強度レーザーのセラミックス照射では、主論文Journal of Physics D: Applied Physicsにあるように表面から深さ方向に階層状に微細構造が形成できること、即ちレーザー照射面から100 μm の深さに4層（結晶サイズが数十nmから数 μm の4層構造）からなる多結晶が形成されることが、初めて明らかとされた点は、博士論文に値するものである。グラファイト材料への照射結果も国際会議で報告し、国内学会招待講演に推薦され、同様に博士論文に値する独創性を有する。

公開審査会で主な質問点のうち、超高強度レーザーの定義に関する疑義については、レーザー研究第25巻12号855頁の論文を参考に、一般的定義として、超高強度レーザーはギガワットからテラワット以上のパワーのだせる能力のあるレーザーとしている。集光強度がどの程度かはレーザーそのものの性能ではないこと、また、本論文の基となる主論文Journal of Physics D: Applied Physics にも、最初に超高強度レーザー（ultra-intense laser）の照射による結果であると書かれている。

事業化に向けた取り組みに関連して、本論文では、ビジネス展開のフィールドを本人所属の自動車企業グループに限定することで、明確なビジネスプランを企画する事を可能にしている。機能改質の実験結果が産業につながるかの質問に対しては、本論文の目的は、産業化に向かって推進することで、直接産業化に結びつけるためにどうするかまで言及するものではない。したがってこのままで良いとした。

また論文執筆及び公開審査会での質疑応答における論理構成能力は、博士の学位に値する学力ありと判定した。また顧客を想定した上での事業開発取り組みは、本学が掲げる光産業創成に結びつくものであり、以上を総合して博士としてふさわしいと判定するものである。

以上より、本論文は本学の学位細則および内規の基準を満たしており、かつ、博士論文として十分な内容を有すると認められる。以上の結果、博士（光産業創成）の学位を授与するに値すると審査委員全員の一致で判定された。