

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 7 日現在

機関番号：82108

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26400439

研究課題名(和文) 衝撃波誘起ルミネッセンスの解明

研究課題名(英文) Investigation of shockwave-induced luminescence

研究代表者

小林 敬道 (KOBAYASHI, Takamichi)

国立研究開発法人物質・材料研究機構・機能性材料研究拠点・主幹研究員

研究者番号：20260028

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：衝撃波が物質中を走ると何が起きるのか、言い換えると、衝撃波が物質と相互作用すると物質にどんな変化が生じるのかを理解し応用する目的で、衝撃波が引き起こす現象の研究を行った。特に注目したのは発光現象で、衝撃波が粉末蛍光物質を伝搬する際、これまでに報告例のない発光現象が観測されることを発見した。この特殊な現象を解明する実験を実施し、粉末物質は他の一般的な物質とは衝撃波の伝搬挙動が異なることを発見した。更に、特殊な発光(衝撃波誘起ルミネッセンス)は通常発光しない電子励起状態からの発光である可能性が高いこと、衝撃波で生成する欠陥の発光の可能性もあること、新たな発光材料設計に応用できることなどがわかった。

研究成果の概要(英文)：When a shock wave travels in a material medium, it interacts with the material, giving an impulse of stress. Various phenomena are induced by shock waves. We have investigated some of those shockwave-induced phenomena to understand the mechanisms and to apply them for new materials. What we focused on was the shockwave-induced emission of light phenomena. We found an unprecedented shockwave-induced luminescence from a phosphor powder (Ce:YAG), which is quite different from known luminescence such as photoluminescence. By investigating this unique shockwave phenomenon, we found that the shockwave propagation behavior of low-density powders are quite different from that of other general solid materials such as metals. We also found that this unusual luminescence is likely an electronic transition from a higher excited state, but it could also be luminescence from shockwave-generated defects of some kind. It may be applied for a new design method of luminescent materials.

研究分野：高圧科学

キーワード：衝撃圧縮 衝撃波 粉末物質 衝撃インピーダンス ルミネッセンス 衝撃波誘起現象

### 1. 研究開始当初の背景

粉末物質中を衝撃波が伝搬する時、様々な発光現象が観測される。温度上昇による熱放射スペクトルが観測されることが多いが、熱放射以外では、発光性粉末試料の場合、衝撃波誘起のルミネッセンスと思われる極めて珍しい発光が観測されることがあることを我々は発見した。僅かに報告例のある衝撃波誘起ルミネッセンスは通常のルミネッセンス(例えばフォトルミネッセンス)と同様のスペクトルを示すことが知られているのに対し、我々が観測した衝撃波誘起ルミネッセンスは通常のルミネッセンスとは大きく異なるもので報告例はなかった。新奇な衝撃波誘起発光現象であり、衝撃波と物質との相互作用を詳細に理解するための格好の現象であると同時に、発光材料の機能を制御・高度化することを可能にする新たな材料設計法の開発につながると考えた。

### 2. 研究の目的

粉末物質中を衝撃波が伝搬する際に発生する特殊な発光現象(衝撃波誘起ルミネッセンス)は衝撃波と粉末物質の相互作用の結果誘起される発光現象であり、観測例の報告は極めて少ない。衝撃波と物質の相互作用に関する理解を深めることにつながる格好の研究材料といえる。本研究の目的は、特殊な発光現象である衝撃波誘起ルミネッセンスの発光メカニズムを解明することである。

### 3. 研究の方法

衝撃波の伝搬により物質からルミネッセンスが発せられる現象はほとんど知られていない。特に、通常(常圧)のルミネッセンスとは大きく異なる発光スペクトルが観測された例は我々の測定例(Ce:YAG 粉末)を除けば報告例はない。発光のメカニズムを解明するために、まずは詳細な発光特性の測定を進める必要がある。また、粉末物質の基本的な衝撃特性を詳細に知る必要があるため衝撃波の伝搬を記述するのに不可欠な物質速度(粒子速度)の測定を行った。衝撃波発生装置としては一段式火薬銃、発光スペクトル測定には時間分解発光分光装置、物質速度測定には速度干渉計(VISAR)を用いた。

衝撃波を発生させる方法としては高速に加速した飛翔体をターゲットに衝突させるプレートインパクト法を用いた。前面に金属板をつけた直径30mm、長さ約5cm、重さ数十グラムの飛翔体を一段式火薬銃により秒速2kmまで加速してターゲットに衝突させる。ステンレス鋼の飛翔体とターゲットを衝突させた場合、衝突の瞬間に発生した衝撃波がターゲット内部を伝搬し、最大約50万気圧ほどの圧力が1マイクロ秒程度発生する。

ターゲットは厚さ1mmの金属板(Base plate)、粉末試料(厚さ0.1~0.6mm)、透明な光学窓(LiF、石英、サファイア)で構

成した。ベースプレート上に試料粉末をのせ、その上を光学窓で押さえるようにして試料を挟み込み密閉した。粉末試料としては発光性の蛍光体、比較のため発光性でない粉末試料、金属粉末など様々な粉末試料を用いた。

発生した衝撃波誘起発光を観測するための装置として、時間分解発光分光装置を用いた。飛翔体の衝突で衝撃波が発生し試料内を伝搬し、衝撃波が試料と窓との境界に達した時に発光が観測される。この瞬間に合わせて発光信号をその場観察するために、トリガーピンからの電気信号でストリークカメラを起動して発光スペクトルを画像として記録した。

### 4. 研究成果

衝撃波と粉末物質との相互作用の結果、電子的な励起状態が生成され、ルミネッセンスが発せられる。従って、この相互作用を理解することが重要であり、それには粉末物質の基本的な衝撃特性を詳しく知ることが不可欠である。しかし、粉末物質中の衝撃波伝搬挙動は不明な部分が多い。そこで衝撃特性を特徴づける最も基本的な量である物質速度(粒子速度)の測定をYAG粉末について詳細に行った。その結果、YAGのようなセラミックス粉末の場合、一般的に知られている衝撃波伝搬挙動(例えば金属)とは大きく異なることが明らかとなった。金属の場合などは始状態(常温常圧)と衝撃圧縮状態(高温高压)の状態方程式(Hugoniot)はあまり変わらないと考えられているが、セラミックス粉末の場合は衝撃圧縮状態で密度の大幅増加の効果と高温での強度低下が小さいことからHugoniotが大幅に変化する(衝撃インピーダンスが数倍に増加する)ことがわかり、衝撃波の伝搬挙動(特に衝撃波の反射)が金属などの通常の挙動とは大きく異なることを明らかにした。

照明などに使われる蛍光体として実用化されている黄緑色蛍光体Ce:YAGの粉末に衝撃波が伝搬すると図1に示すようなスペクトルの発光が観測される。比較のために常温

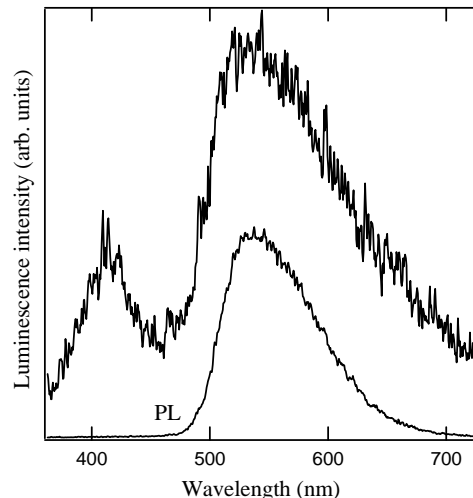


図1 衝撃波誘起ルミネッセンススペクトル

常圧の PL ( フォトルミネッセンス ) スペクトルを図の下方に示した。上方に示したのが衝撃波誘起ルミネッセンスで、衝撃波が粉末試料を伝搬する際に試料から発せられる発光信号を時間分解発光測定法を用いてその場観察したものである。PL にはない発光ピークが 410nm 付近に出現している。これは衝撃波によって励起される特異な衝撃波誘起ルミネッセンスと考えられ、これまでに報告例のない極めて珍しい発光現象である。これに対し、530nm 付近の発光はいずれのスペクトルにも存在し、Ce<sup>3+</sup>の最低励起状態からの発光である。PL など同様の発光が衝撃波誘起の発光で観測される例は数例報告されており、衝撃波との相互作用により電子励起状態が形成されたことを表している。一方、図 1 の例 ( 410nm の発光 ) は PL など通常の発光スペクトルには現れない衝撃波誘起ルミネッセンスの例で極めて珍しい発光現象である。詳細に Ce:YAG 粉末の衝撃波誘起ルミネッセンスの発光特性を調べた結果、

- ( ) 衝撃強度が低いと発現しない。
- ( ) 衝撃強度を上げると発光強度も増加する。
- ( ) 発光ピークの位置 ( 波長 ) は衝撃強度に依存せず変化しない。
- ( ) 低密度粉末の場合に強い発光が見られ、高密度粉末にすると発光は弱くなる。
- ( ) Ce を含まない純粋な YAG 粉末からはいずれの発光ピークも観測されない。
- ( ) 衝撃圧縮回収物の PL を測定したところ、530nm に加えて、410nm にも非常に弱く発光があることがわかった。発光寿命は 530nm に比べてはるかに短い。

などの特性が明らかとなった。

#### 5. 主な発表論文等

( 研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線 )

[ 雑誌論文 ] ( 計 4 件 )

Takamichi Kobayashi, “Shock compression behavior of low density powder materials and the double-shock Hugoniot”, *Mechanics of Materials* 111 (2017) 15-20. doi: 10.1016/j.mechmat.2017.05.004 査読有

Takamichi Kobayashi, “Shock-wave-induced luminescence of phosphor powders”, *Chem. Phys. Lett.* 643 (2016) 43-46. doi: 10.1016/j.cplett.2015.11.017 査読有

Takamichi Kobayashi, “Particle velocity measurements of powdered materials under shock wave loading”, *Chem. Phys. Lett.* 640 (2015) 153-156. doi: 10.1016/j.cplett.

2015.07.049 査読有

Takamichi Kobayashi, “Direct observation of large shock impedance jump upon shock-induced densification of powder materials confirmed by in-situ shock pressure and particle velocity measurements”, *Chem. Phys. Lett.* 608 (2014) 157-160. DOI: 10.1016/j.cplett.2014.05.103 査読有

[ 学会発表 ] ( 計 6 件 )

小林敬道、衝撃波誘起ルミネッセンスの発光特性、H28 年度衝撃波シンポジウム、H29 年 3 月 10 日、ヴェルクよこすか ( 神奈川県横須賀市 )

Takamichi Kobayashi, “Shock-Wave-Induced Luminescence of Phosphor Powders”, The 31th International Congress on High-Speed Imaging and Photonics, 2016.11.10, Hotel Hankyu Expo Park ( 大阪府吹田市 )

小林敬道、粉末蛍光体の衝撃波誘起発光、第 57 回高圧討論会、H28 年 10 月 28 日、筑波大学 ( 茨城県つくば市 )

小林敬道、粉末物質の反射衝撃波特性、H27 年度衝撃波シンポジウム、H28 年 3 月 8 日、熊本大学 ( 熊本県熊本市 )

小林敬道、粉末物質の粒子速度測定、第 56 回高圧討論会、H27 年 11 月 12 日、アステールプラザ ( 広島県広島市 )

小林敬道、粉末物質の衝撃インピーダンス変化の観測、第 55 回高圧討論会、H26 年 11 月 24 日、徳島大学 ( 徳島県徳島市 )

[ 図書 ] ( 計 件 )

[ 産業財産権 ]

出願状況 ( 計 件 )

名称 :  
 発明者 :  
 権利者 :  
 種類 :  
 番号 :  
 出願年月日 :  
 国内外の別 :

取得状況 ( 計 件 )

名称 :  
 発明者 :

権利者：  
種類：  
番号：  
取得年月日：  
国内外の別：

〔その他〕  
ホームページ等

#### 6. 研究組織

##### (1) 研究代表者

小林 敬道 (KOBAYASHI, Takamichi)  
国立研究開発法人物質・材料研究機構・機能性材料研究拠点・主幹研究員  
研究者番号：20260028

##### (2) 研究分担者

( )

研究者番号：

##### (3) 連携研究者

( )

研究者番号：

##### (4) 研究協力者

( )