

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 2 年 6 月 6 日現在

機関番号：82108

研究種目：挑戦的研究(萌芽)

研究期間：2018～2019

課題番号：18K18742

研究課題名(和文) 衝撃波が引き起こす未知発光現象の解明

研究課題名(英文) shock-wave-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) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：衝撃波が引き起こす特殊な現象を解明し、それにより衝撃波と物質との相互作用を原子・分子レベルで理解することが本研究の目的である。衝撃波は応力波であり衝撃波による発光現象は応力発光と考えられる。我々は粉末蛍光体(Ce:YAG)で通常の蛍光スペクトルとは大きく異なる発光が衝撃波で誘起される特殊な衝撃波誘起ルミネッセンスを発見した。衝撃波がもたらす極限環境がこの発光の励起メカニズムに関与していると考え、現象の解明に取り組んだ。その過程で、多結晶ダイヤモンドから新たな衝撃波誘起発光と思われる発光現象を観測した。これらの解析により励起メカニズムや発光種の特定を進めており、現象の解明に近づいている。

研究成果の学術的意義や社会的意義

衝撃波が物質に作用すると様々な発光現象が起こる。熱的な発光やその物質固有の発光(ルミネッセンス等)などであるが、これら通常の発光の他に衝撃圧縮特有の発光が観測される場合があり、未知の物理現象である。これは衝撃波と物質との相互作用による特殊な極限環境において誘起される発光現象である。衝撃波により発生する未知の物理現象を解明する学術的意義に加え、衝撃波を受けた物質がどのような挙動をするのかを微視的レベルで理解することにより、衝撃波を物質に作用させることにより物質の機能を変化・向上させるような応用に繋がると考えられる。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this study is to understand the anomalous shock-wave-induced luminescence phenomenon by investigating the interaction between shock wave and material at the molecular level. Shock wave is a stress wave and shock-wave induced luminescence may be categorized as mechanoluminescence. We observed anomalous luminescence emission from Ce:YAG powder under shock compression, which was quite different from ordinary luminescence of Ce:YAG. We assumed that the extreme conditions generated by shock waves are responsible for the excitation mechanism of this anomalous luminescence. More recently, we observed another anomalous shock-wave-induced emission of light from polycrystalline diamond. Those anomalous shock-wave-induced phenomena we observed should serve as key data to understand them.

研究分野：分子分光学 衝撃圧縮

キーワード：衝撃波誘起現象 発光現象 衝撃圧縮 ルミネッセンス 応力発光

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

## 1. 研究開始当初の背景

強い衝撃波が物質中を走ると物質は一瞬にして超高温・超高压状態になる。この状態変化の際に様々な発光現象が観測される。最も一般的なものは熱放射であり、これは衝撃超高温状態から発せられるもので温度に応じた幅広のスペクトル(黒体放射)となる。これ以外の発光としては、衝撃波が応力波の一種であることから、応力発光と考えられる種々の発光(原子・分子発光スペクトルやルミネッセンスなど)が観測されることがあるが、いずれも通常のフォトルミネッセンスなどの発光スペクトルと同じスペクトルを示す場合がほとんどであった。我々は粉末蛍光体(ディスプレイに使用されているCeドープの蛍光体Ce:YAG)が衝撃波により通常の蛍光スペクトルとは大きく異なる発光を示すことを発見した。これは熱放射でも通常の光励起(PL)あるいは電子線励起(CL)の発光でも説明できない衝撃波励起特有の新奇発光現象であると考えられ、当時、我々の観測が唯一の報告例であった。衝撃波という特殊な方法で励起される点において、また、観測される発光スペクトルが既知の発光(ルミネッセンス)スペクトルとは大きく異なるという点において、極めて珍しい発光現象であり新奇な発光プロセスであると考えた。これは衝撃波と物質との相互作用による特殊な極限環境において誘起される発光現象である。衝撃波により発生する未知の物理現象(発光現象)を解明する学術的意義に加え、そのメカニズムを解明することにより、衝撃波を受けた物質がどのような挙動をするのかを微視的レベルで理解し、更には衝撃波を物質に作用させることにより物質の機能を変化・向上させるような応用に繋がると考えた。

## 2. 研究の目的

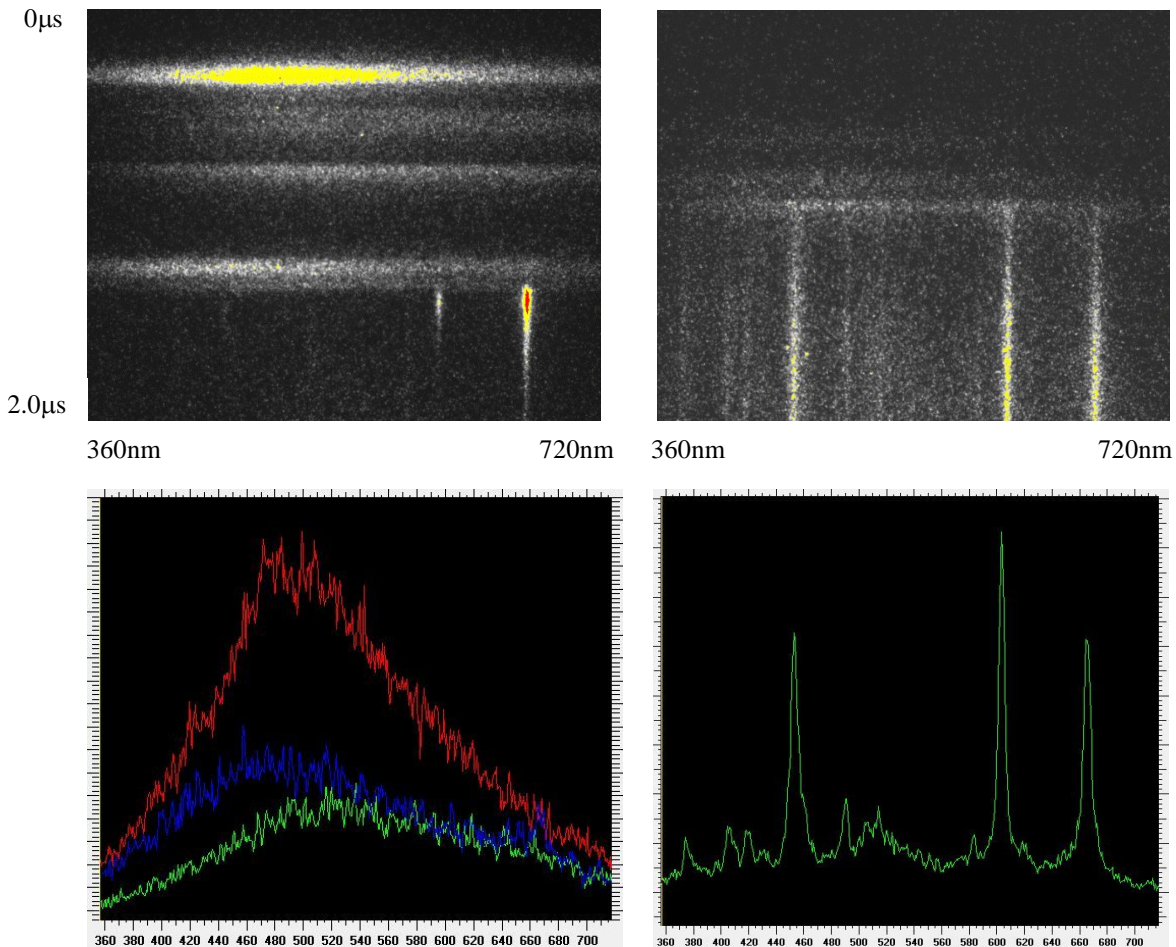
衝撃波が引き起こす特殊な現象を解明し、それにより衝撃波と物質との相互作用を原子・分子レベルで理解することが本研究の目的である。特に、衝撃波により誘起される未知の発光現象(衝撃波誘起ルミネッセンス)のメカニズムを解明すること、そしてそれを応用して発光性物質の機能を衝撃波により変化・向上させることに利用することを目的とした。本研究で取り上げる発光現象はこれまでに観測例のない発光現象であり、衝撃波で直接励起されることによって観測される新たな物理現象と考えられる。この現象を解明するには発光種は何なのか、また、その発光種がどのように励起されるのか(励起メカニズム)を明らかにすることが不可欠である。これにより衝撃波と物質との相互作用及び衝撃極限環境状態を真に解明することにつながる。

## 3. 研究の方法

前例のない発光現象であったので基礎データの蓄積が重要と考え、どのような条件でこの現象が発生するのか、他の発光物質や非発光物質でも観測されるのか、ということを中心に実験を行った。発光のメカニズムを解明するためには衝撃波誘起ルミネッセンスの発光特性に関する基礎データを蓄積することが必須であるため、衝撃波を発生させる際の条件を広範囲で変えることにより、衝撃圧縮下の試料の温度・圧力のみならず、発生するホットスポット、ジェッティング、欠陥の程度を変えて詳細な発光特性の測定を行った。試料は粉末物質、結晶、焼結体、液体、また、発光性物質、非発光物質など多岐にわたった。強度衝撃波発生装置は一段式火薬銃を用い金属飛翔板を高速(最高速度 2km/s)で試料に衝突させることにより平面衝撃波を発生し試料中を伝搬させた。発光スペクトル測定には時間分解発光分光装置を用いた。衝撃波により発生する発光は光学系を通して光ファイバーで分光器に導入した後、ストリークカメラで時間分解し、その画像をCCDカメラで記録した。また、試料物質の基礎的な衝撃波特性を知るために速度干渉計(VISAR)を用いた。

#### 4. 研究成果

種々の試料について衝撃条件を変えて実験を行ったが、粉末蛍光体Ce:YAG以外には特殊な衝撃波誘起発光(ルミネッセンス)を示す物質を見出すことは簡単ではなかった。ダイヤモンド多結晶体が衝撃圧縮下で強く発光するという情報を得、ナノ粒子及びミクロン粒子のダイヤモンド多結晶体の衝撃圧縮実験を実施したところ、予測し得なかった二種類の衝撃波誘起発光を観測した。一つはブロードな発光であり、ダイヤモンドのフォトルミネッセンスにはない発光である。これは熱的な発光である可能性があるが、結晶の場合は衝撃温度があまり上がらないため、通常、熱放射は観測されない。多結晶試料であるため、欠陥や粒界からの局所的熱放射(Hot spot)の可能性があり、衝撃波誘起発光の特殊な例と言えるかもしれない。もう一つは寿命の長い線スペクトルで可視領域に数本ある。これはダイヤモンドからの発光ではなく衝撃波駆動板からの金属原子の発光である可能性が高いが、このように非常に寿命が長い衝撃波誘起による原子発光の例は知られていない。初めの粉末蛍光体からの発光に加え、これらの発光も衝撃波誘起発光の特殊な例であり、この発光現象の解明の鍵となる重要なデータが得られたと考えられる。



上図左側にナノダイヤモンド多結晶からの衝撃波誘起発光のストリーク画像とそのスペクトル(赤: ~0.32 μs, 青: ~1.27 μs, 緑: ~0.78 μs)、右側にミクロンダイヤモンド多結晶の場合の衝撃波誘起発光のストリーク画像とそのスペクトルを示した(但し、この場合はステンレス駆動板からの発光である可能性が高い)。ミクロン粒子のダイヤモンド多結晶体(上図右側上)では幅広な発光が非常に弱い。これは試料が黒色であったためと考えられる。ナノ多結晶試料はほぼ透明であったので衝撃波が試料中を通過する時に発生する局所的な発光が見えると考えられる。いずれの試料の場合にも、試料に衝撃波が入って暫くの間、幅広の発光が複数回現れ、その後、原子線のようなシャープな発光が遅れて出現する。ミクロン粒子試料の場合は特

に発光寿命が長く、また、発光強度の減衰が Exponential decay で表されるような単調減少を示さないという特徴がある。粉末蛍光体の未知の発光を含め、上述の3種類の発光は衝撃波と物質との相互作用により作り出される超高温・超高压・超高速歪などの極限環境で発生する衝撃波誘起特有の発光現象と言える。これらの現象を詳細に解析し理解することで、これらの特殊な発光がどのような励起のメカニズムにより、どのような発光種から発せられるのかを特定することが重要である。これにより物質と衝撃波の相互作用を微視的レベルで理解し、未知の衝撃波誘起発光現象を解明することができ、衝撃波と物質との相互作用について詳細に理解することができる。未知の衝撃誘起発光現象の解明には至っていないが、上述の3種類の特殊な衝撃波誘起発光現象が解明のための鍵になると考えられる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 小林敬道
2. 発表標題 粉末蛍光体Ce:YAGの衝撃特性
3. 学会等名 第59回高圧討論会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 小林敬道
2. 発表標題 ポーラス物質の衝撃特性と衝撃波誘起発光現象
3. 学会等名 平成30年度衝撃波シンポジウム
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考