

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 4 日現在

機関番号：82108

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23540484

研究課題名(和文) 衝撃波で誘起される新奇発光現象の解明

研究課題名(英文) Investigation of novel shock-wave-induced light emission phenomenon

研究代表者

小林 敬道 (KOBAYASHI, Takamichi)

独立行政法人物質・材料研究機構・先端材料プロセスユニット・主幹研究員

研究者番号：50343835

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,000,000円、(間接経費) 1,200,000円

研究成果の概要(和文)：粉末物質中を衝撃波が伝搬することにより誘起される特殊な発光現象の解明に取り組んだ。可視域から近赤外域にわたるブロードな発光であり、発光性物質でない場合にも観測されることが判明した。また、1万気圧以下の弱い衝撃圧縮においても可視領域に強い発光があることから、粉末試料自体の発光ではなく残留ガスが断熱圧縮され高温状態になり熱放射することがわかった。更に、より詳細な解析から、熱放射以外の発光成分の存在が明らかになり、衝撃波誘起のルミネッセンスである可能性が示唆された。この衝撃波誘起ルミネッセンスはこれまでに報告例のない発光現象と考えられ、新たな研究の展開につながると期待される。

研究成果の概要(英文)：We investigated an unknown emission of light from powder materials when a shock wave propagates in the materials. The emission was very broad, covering the visible and the near-infrared region, and was observed not only from luminescent materials but also from nonluminescent materials. It was proven that the emission of light was a thermal radiation of adiabatically-compressed residual gas in the powder materials. It was also found for luminescent powder materials that another kind of emission is included in the observed shock-induced emission spectra, which may be considered as shock-induced luminescence. It is very different from known luminescence spectra and might lead to a discovery of a new shock-wave-induced phenomenon.

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：物理学・生物物理・化学物理

キーワード：衝撃波誘起発光 粉末物質 熱放射 衝撃圧縮

1. 研究開始当初の背景

物質中に衝撃波が走ると様々な発光現象が観測される。多くの場合、衝撃圧縮により物質内の温度が急激に上昇するため、その熱放射が観測される。熱放射以外の発光現象としては、金属粉末物質の場合に原子線が観測されることはよく知られている。また、報告例は少ないが、発光性物質の場合にトリボルミネセンス(応力発光の一種)が観測された例がある。この場合のトリボルミネセンスは通常ルミネセンス(例えばカソードルミネセンスやフォトルミネセンス)と同様のスペクトルであることが確認されている。我々は、粉末試料に衝撃波を伝搬させた時、非常に強い発光が観測される場合があり、それは粉末試料の熱放射では説明できず、また、通常の原子線す歩会苦取るアルミネセンスとも全く異なる発光であることを発見した。結晶の場合などでは観測例のない発光であり、粉末物質特有の現象と考えられた。この新奇な衝撃波誘起発光現象の解明に取り組んだ。

2. 研究の目的

本研究の目的は上述の“衝撃波によって誘起される新奇な発光現象”のメカニズムを解明することにある。初期段階においては、発光性粉末物質の場合に、この発光が観測されていたが、発光性物質でのみ観測されるのか、粉末物質でなければ観測されないのかなどがこの現象を解明する重要なポイントになると考えられる。

3. 研究の方法

(1) 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。例えば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瞬時的(1マイクロ秒程度)発生する。これにより試料物質は衝撃圧縮される。

(2) ターゲットは厚さ 1mm の金属板 (Base plate)、粉末試料 (厚さ 0.1~0.3mm)、透明な光学窓 (LiF など) 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、金属粉末、塩類化合物など様々な粉末試料を用いた。

(3) 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。実験装置の概略を図 1 に示した。飛翔体の衝突で衝撃波が発生し試料内を伝搬す

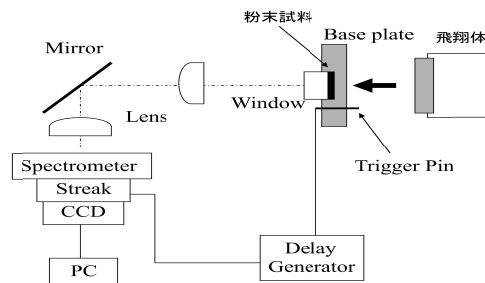


図 1 時間分解発光分光装置

る。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信号を画像として記録する。

(4) この発光現象を理解するために、先ずは以下のような発光特性に関する基礎データを十分に集積し、その解析を基にメカニズムの解明を試みた。

発光強度及び発光スペクトルプロファイルの試料依存性(試料により発光強度やスペクトルがどう違うか)

発光強度の衝撃強度依存性(衝撃強度を変えた時に発光強度はどう変化するか)

4. 研究成果

(1) 様々な粉末物質について実験を行い、衝撃波誘起発光の有無、発光強度、発光スペクトルプロファイル等を調べたところ、基本的に全ての粉末物質から衝撃波誘起発光が観測された。つまり、発光性物質でも非発光性物質でも、また、金属、セラミックス、有機物、いずれの場合にもこの発光は認められた。当初、発光性物質からこの発光が観測されたので、何らかのルミネセンスであろうと考えたが、上の結果からルミネセンスではない可能性が高まり、更に、スペクトルが非常にブロードであることから何らかの熱放射現象である可能性が高まった。図 2~4 に代表的な発光イメージ画像を示した。縦軸は時間で全体が 1.03 マイクロ秒、横軸は波長で左端が 361.4 nm、右端が 722.7 nm で可視領域全体をカバーしている。

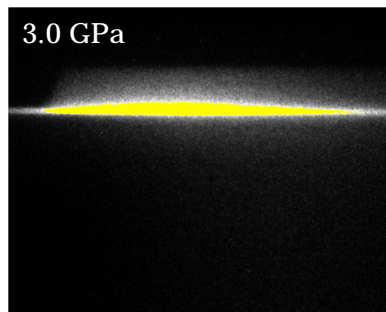


図 2 EuCl_2 の衝撃誘起発光

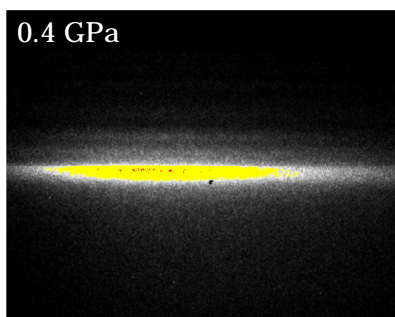


図3 CsCl の衝撃誘起発光

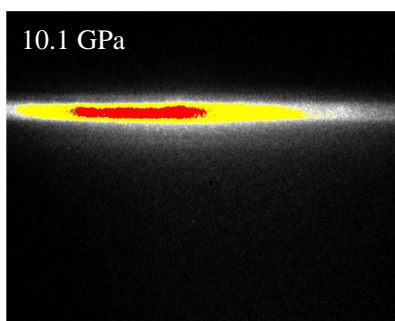


図4 Cu の衝撃誘起発光

(2) 発光強度の衝撃強度依存性を調べたところ、非常に弱い衝撃強度に対しても可視域に強い発光が認められた。図3はその一例である。この発光が熱放射であるとした場合、可視域にピークのある発光は 5000 K 程度以上の温度に相当するので、試料の衝撃温度として予測される温度（数百度 K）では説明できない。このことから試料の熱放射ではないことが明らかになった。

(3) 試料以外の物質としては残留ガスがある。粉末試料の場合は隙間が多くあり、そこに残留ガスが存在する。粉末試料が衝撃圧縮される際、残留ガスも試料の衝撃圧と同程度の圧力まで瞬間的に圧縮される（断熱圧縮）と考えられる。この場合、1GPa 以下の弱い衝撃圧縮であってもガスは数千度の高温に達すると予想される。これを確認するために、できるだけ残留ガスを含まない試料を作成して実験を試みた。一つの方法は粉末試料をプレスで押し固め残留ガスを少なくした試料（圧粉体）を用いる方法、もう一つは粉末試料の隙間を試料物質と反応しない液体で満たした試料を用いる方法である。この結果、発光強度は桁違いに弱くなり、粉末試料の衝撃波誘起発光の原因は試料中に残存したガスにあり、そのガスが断熱圧縮を受けることにより数千度の高温になり強く熱放射することが判明した。

(4) 粉末などのポーラスな物質に及ぼす衝撃波の影響に関する研究は比較的歴史が浅いが、衝撃散逸特性、衝撃固化現象、衝撃誘起化学反応等に関する研究が行われている。

本研究のように発光現象の観点からの研究はまだ少ないが、ガス中を伝搬する衝撃波に関する研究は古くから非常に詳しく行われている。今回の現象はガス中を衝撃波が伝搬することによる発光現象ではないことに注意する必要がある。本研究で発生させた程度の衝撃波がガス中を伝搬しても圧力が上がらず、衝撃温度も然程上がらない。しかし、隙間の多い粉末物質などの場合、残留ガスは衝撃波により直接圧縮されるより、粉末物質が衝撃圧縮される際、その粉末物質により押しつぶされるための圧力上昇の方がはるかに大きい断熱圧縮による温度上昇が大きく、強い熱放射をされると考えられる。本研究の結果を応用すると、ガスを含む粉末物質は弱い衝撃波でも強く可視領域で発光することから、衝撃波センサーとして利用できる可能性がある。

(5) 粉末物質が衝撃圧縮される時、非常に強い発光が観測されることから、この発光現象を解明するための研究に取り組んだ。その結果、粉末試料が衝撃圧縮される際、隙間に閉じこまれているガスが周囲の粉末粒子に押し縮められ、粉末試料の衝撃圧と同程度の圧力まで断熱圧縮されることにより高温に達し、可視域に強く熱放射するという結論に至った。この過程において、微弱ながら熱放射以外の発光成分が存在するところがあった。発光性試料の場合に観測され、スペクトルは熱放射に比べシャープであり、ルミネッセンスに似た発光である。しかし、通常のルミネッセンススペクトルには存在しないピークも確認されており非常に興味深い発光現象である。衝撃波により誘起されるルミネッセンスとしてはトリポルミネッセンスが僅かに報告されているが、通常のルミネッセンススペクトルと同一の発光であると認知されている。上述の発光は明らかに通常のルミネッセンスとは異なることから、これまでに報告例のない衝撃波誘起の発光現象である可能性があり、新たな研究の展開につながると期待される。

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 1 件)

Takamichi Kobayashi, “Radiation of light from powder materials under shock compression”, *Chem. Phys. Lett.* **565** (2013) 35-39. DOI:10.1016/j.cplett.2013.02.012 査読有

〔学会発表〕(計 6 件)

小林敬道、粉末蛍光体の衝撃波誘起ルミネッセンス、平成 25 年度衝撃波シンポ

ジウム, H26年3月7日、相模原

小林敬道、粉末物質からの衝撃波誘起ル
ミネッセンス、第54回高圧討論会、H25
年11月15日、新潟

小林敬道、粉末試料の衝撃誘起発光スペ
クトル、平成24年度衝撃波シンポジウ
ム、H25年3月15日、小倉

小林敬道、粉末試料の衝撃波誘起発光、
第53回高圧討論会、H24年11月7日、
大阪

小林敬道、衝撃波により誘起される新奇
発光現象、光速度イメージングとフォト
ニクスに関する総合シンポジウム、H23
年12月1日、熊本

小林敬道、衝撃波で誘起される希土類化
合物の発光、第52回高圧討論会、H23
年11月11日、沖縄

〔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)
独立行政法人物質・材料研究機構・先端材
料プロセスユニット・主幹研究員
研究者番号：50343835

(2) 研究分担者

()

研究者番号：