

マトリックス中に生成した励起原子集団による放射過程の研究(2)

(近畿大院総合理工¹・岡山大院自然²・岡山大極限量子研³)○若林知成¹、富岡万貴子¹、山口琢也²、中野逸夫²、吉村太彦²、笹尾 登³

【序】同一のエネルギー準位をもつ原子集団において励起状態にある多数の原子からの放射がコヒーレントに時間発展する場合、放射レートの時間プロファイルに尖頭的な強度増加の特徴が現われることが知られている[1]。超放射と呼ばれるこの現象は、液体ヘリウム温度に冷却した KCl 結晶中に含まれる O_2^- の電子遷移など[2]、電気双極子遷移に基づく 1 光子過程について確認されている。本研究では、原子過程を利用したニュートリノペア放出の検出に関連して[3]、原子の準安定状態からの 2 光子超放射についてその原理的検証を行っている。

低温マトリックス分離分光法は、高い反応性をもつ原子を高密度に捕捉することが可能であることから、超放射に特徴的な放射強度の励起原子数依存性 $\propto N^2$ を確認するうえで有利な実験系であると考えられる。今回はビスマスを例に、ネオンマトリックス中における原子の光学遷移とそれに関連する励起状態の性質について調べたので報告する。

【実験方法】真空中で約 600°C に加熱したルツボから気化したビスマス原子をビームとして切り出し、四重極質量分析計でビーム強度をモニタしながら、約 3 K に冷却したサファイア基板上にネオンガスとともに吹き付けた。生成した厚さ 1 mm 前後の固体マトリックス試料に、波長可変ナノ秒色素レーザーの 2 倍波または基本波を照射し、90° 方向に散乱される光をレンズ系により石英ファイバーの先端に集光し、分光器へと導いた。焦点距離 30 cm の回折格子分光器を用いて波長分散させた後、発光スペクトルの測定には冷却 CCD アレイ検出器を、発光の時間プロファイルの測定には光電子増倍管を用いて発光の検出を行った。

【結果と考察】図 1 に今回測定した 258 nm 励起によるネオンマトリックス中の Bi 原子の発光スペクトルをこれまでに報告されている気相の Bi 原子のエネルギー準位図とともに示す。

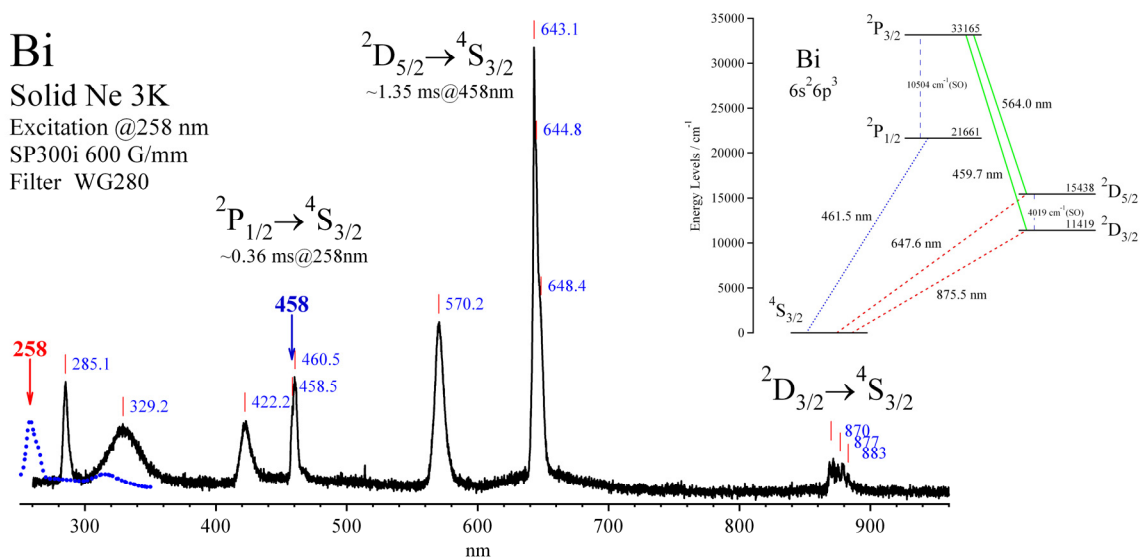


図 1. ネオンマトリックス中のビスマス原子の発光スペクトル (励起波長 258 nm) .

基底状態 $^4S_{3/2}$ と同じ電子配置 $(6s)^2(6p)^3$ から生じる 4 つの励起状態のうちの 3 つ $^2P_{1/2}$, $^2D_{5/2}$, $^2D_{3/2}$ それぞれから基底状態への遷移が観測された。

次に励起波長を 458 nm に変えて、 $^2P_{1/2} \leftarrow ^4S_{3/2}$ 遷移を励起した際の発光スペクトルを測定した。図 2 に示すように、645 nm の発光スペクトル $^2D_{5/2} \rightarrow ^4S_{3/2}$ は 3 つの成分で構成される。励起波長を 458 nm 前後で掃引して 3 つの発光成分の面積強度を励起波長に対してプロットしたところ、それぞれ異なる励起スペクトルを示した。紫外励起で得られた発光スペクトル $^2P_{1/2} \rightarrow ^4S_{3/2}$ と比較すると 100 cm^{-1} 程度のストークスシフトがあることがわかる。

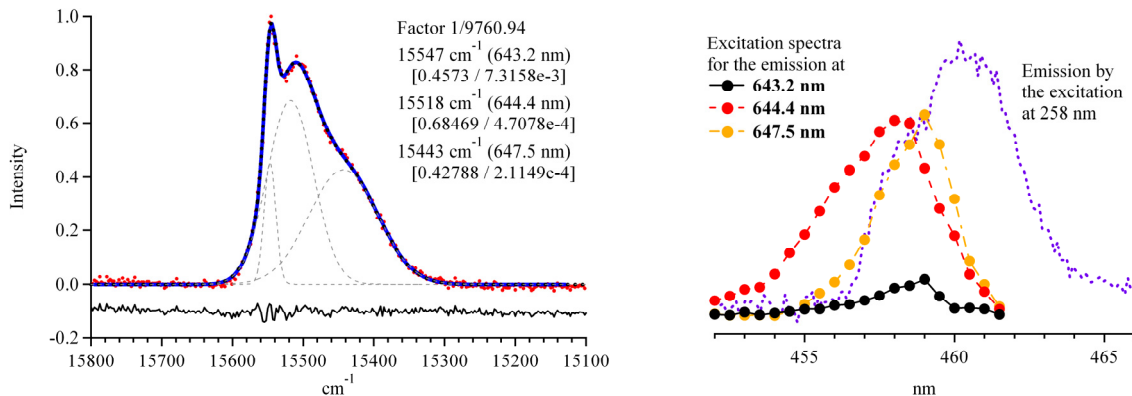


図 2. 励起波長 458 nm におけるビスマス原子の発光スペクトル（左）および励起スペクトル（右）。

光励起に続く $^2D_{5/2}$ 状態のポピュレーションの時間変化を調べるため、励起波長を 458.5 nm に固定して 645 nm の発光の時間プロファイルを測定した。図 3 に示すように、発光強度は 0.12 ms の上昇の後、1.35 ms の寿命で減衰した。前者は $^2P_{1/2}$ 状態への直接励起の後、 $^2D_{5/2}$ 状態への移行に時間がかかることを意味する。今回観測された指数関数型の減衰は発光過程がコヒーレンスのない単独原子の自然放出によるものであることを示している。

本実験において、励起状態の Bi 原子をネオンマトリックス中にミリ秒程度保持できることが明らかになった。今後は基底状態および励起原子の数密度の評価を進めるとともに、自発放出のなだれ現象を引き起こすための実験手法の開発を検討する。

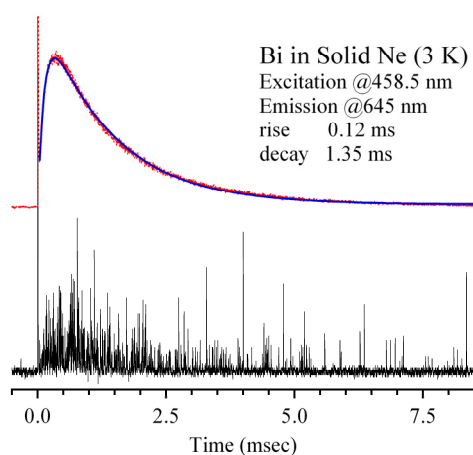


図 3. Bi/Ne(3 K)の発光の時間プロファイル。下は単一パルス励起光による信号、上はその積算およびフィッティング関数。

<参考文献>

- [1] R. H. Dicke, *Phys. Rev.* **93**, 99 (1954).
- [2] R. Florian, L. O. Schwan, D. Schmid, *Phys. Rev A* **29**, 2709 (1984).
- [3] M. Yoshimura, *Phys. Rev. D* **75**, 113007 (2007).