

## 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

(近畿大理工<sup>1</sup>・岡山大理<sup>2</sup>・岡山大自然<sup>3</sup>・岡山大極限量子研<sup>4</sup>・京大大理<sup>5</sup>)○若林知成<sup>1</sup>、福見 敦<sup>2</sup>、中嶋 享<sup>2</sup>、大饗千彰<sup>3</sup>、山口琢也<sup>3</sup>、湯浅一生<sup>3</sup>、谷口 敬<sup>4</sup>、川口健太郎<sup>3</sup>、百瀬孝昌、中野逸夫<sup>3</sup>、南條 創<sup>5</sup>、笹尾 登<sup>4</sup>、吉村太彦<sup>2</sup>

【はじめに】1954年に Dicke が理論的に提唱した超放射は[1]、いくつかの原子・分子系において実験的にも確認されている。本研究では、既に報告のある一光子超放射過程を拡張し、ニュートリノ質量分光[2]に必要とされる基礎的放射過程の原理検証実験に取り組んでいる。具体的には、希ガス固体やフラーレンなどのマトリックス中に準安定励起準位をもつ原子を高密度に単離し、光励起に伴う緩和過程の詳細を実験的に明らかにすることを目的としている。討論会では、本実験のために準備を進めている低温マトリックス分離分光実験用装置および光学系について報告し、窒素内包フラーレン N@C<sub>60</sub>に関する実験経過と合わせて、超放射過程検出の見通しについて議論する。

【超放射過程の理論】励起原子集団において光子放出過程がコヒーレントに発展した場合、自然放出における加算的効果を超える光強度のパルス的な増幅が得られる[3]。その時間発展および空間発展の詳細は特異的なパルス波形や遅延時間および放出される光子の空間分布に反映される[4]。典型的な一光子超放射過程においてはその放射強度が励起原子数  $N$  の 2 乗に比例するが、その前提条件として励起原子の量子干渉性が十分長い時間保たれる必要がある。そのため標的原子は孤立系に近い環境のもとで高密度に維持されなければならない。

【マトリックス分離分光】反応性の高い原子・分子を安定に捕捉することによって分光実験を可能にする手法の一つにマトリックス分離法がある。希ガス固体による低温マトリックス分離分光法は媒質と媒体の相互作用が比較的小さいことから、高い分解能による分光実験も期待できる。われわれは固体ネオンマトリックスに捕捉した原子集団について光励起およびそれに続く放射過程を明らかにする研究に着手した。

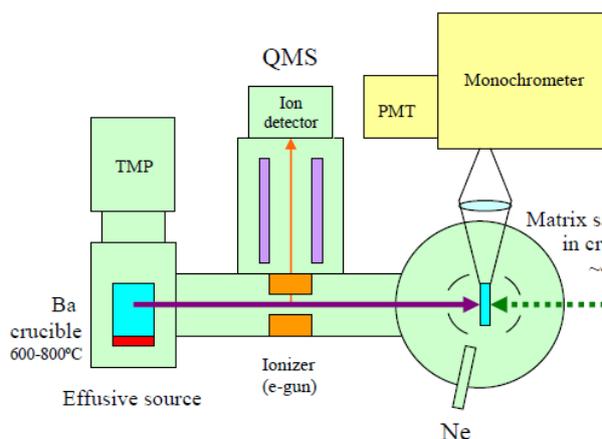


図 1. 低温マトリックス分離分光装置.

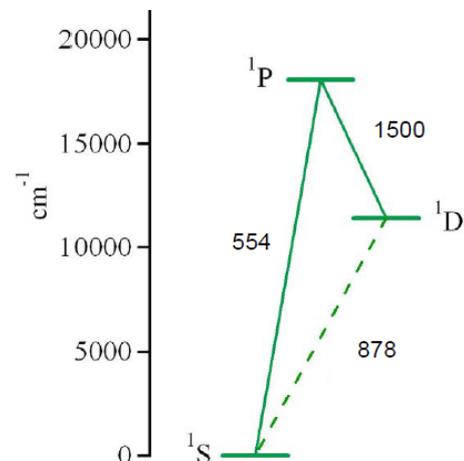


図 2. Ba 原子の準位.

図 1 は実験装置の概念図である。高温セルから蒸発したバリウム原子はビームモニター質量分析器を通過してマトリックス作製用チャンバーに入る。そこに約 4 K の低温基板があり、バリウム原子は過剰のネオンガスとともに凝縮され、固体ネオン中に単離される。0.1~2 mm の厚さに成長したネオンマトリックスを試料として色素レーザーを励起光源とする励起状態の生成と緩和に関する分光実験が可能となる。図 2 にバリウム原子の気相準位を示す。554 nm の光吸収によって生成する  $^1P$  状態から  $^1D$  状態に緩和にする際に 1.5  $\mu\text{m}$  の近赤外光を放出することが知られている。ネオンマトリックス中において対応する過程にどのような相違があるかを明らかにしたうえで、超放射に必要な線幅や位相緩和の寿命などを検討する。

【窒素内包フラーレン  $\text{N@C}_{60}$ 】  $\text{C}_{60}$  に捕捉された窒素原子は、金属内包フラーレンにおける金属原子とは異なり、中性原子のままケージの中心に位置すると考えられている。N 原子は基底状態が 4 重項であり、 $\text{N@C}_{60}$  において電子スピン共鳴吸収が観測される。その線幅は数 kHz 以下であることが ENDOR 等の実験で確認されており、凝縮相でありながらエネルギー緩和時間のみならず位相緩和時間までも極端に長いことが明らかになっている。われわれは  $\text{N@C}_{60}$  の励起状態、特に N 原子の励起状態に関心をもって分光を行っている。これまでに  $\text{N@C}_{60}$  の生成と分離および高純度化についてその手法を確立し、現時点で  $10^{14}$  個程度の  $\text{N@C}_{60}$  を高純度試料として調製することが可能となった。現在この高純度  $\text{N@C}_{60}$  を有機溶媒に溶かした試料を用いて紫外可視吸収スペクトルおよびレーザー誘起発光励起スペクトルの測定を行っている。検出したい電子状態は N 原子の 2 重項  $^2P$  または  $^2D$  であり、基底状態  $^4S$  からの光学遷移はスピン禁制である。こうした光学禁制が強い遷移ほど励起状態の相互作用が小さく励起準位に長寿命および狭線幅が期待できる。孤立原子を高密度に集積できる  $\text{N@C}_{60}$  は超放射現象のマクロスコピックな増幅が期待される系の一つと考えられる。

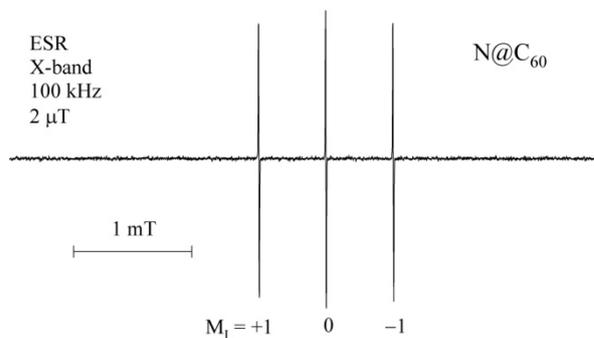


図 3.  $\text{N@C}_{60}$  の ESR (溶媒  $\text{CS}_2$ ).

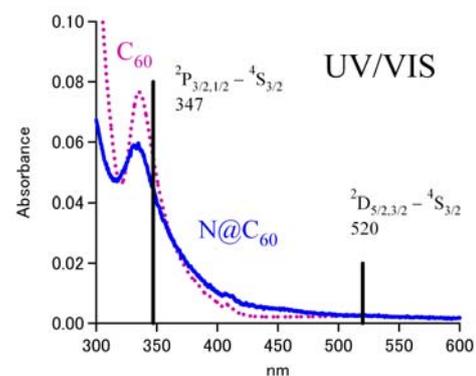


図 4.  $\text{N@C}_{60}$  の吸収 (溶媒トルエン).

<参考文献>

- [1] R. H. Dicke, *Phys. Rev.* **93**, 99 (1954).
- [2] M. Yoshimura, *Phys. Rev. D* **75**, 113007 (2007).
- [3] M. G. Benedict, A. M. Ermolaev, V. A. Malyshev, I. V. Sokolov, E. D. Trifonov, “*Super-Radiance Multiatomic Coherent Emission*”, Taylor&Francis (1996).
- [4] L. Allen and J. H. Eberly, “*Optical Resonance and Two-Level Atoms*”, John Wiley&Sons (1975), Dover (1986).