



科学研究費補助金新学術領域研究

「光圧によるナノ物質操作と秩序の創生」

News Letter Vol. 12

March 8, 2021

Message to the “Nano-Material Optical Manipulation” project

Pavel Zemánek

(Institute of Scientific Instruments of the Czech Academy of Sciences, Czech)

Within the past five decades, light-induced confinement and transport of physical objects - once merely an interesting peculiarity and a popular attribute of science fiction books and movies - has firmly established itself as a precise, versatile experimental technique with applications in a variety of research fields ranging from natural sciences, to engineering and medicine. For the field of optical manipulation, this successful path to the spotlight began in the early 1970's by a series of pioneering articles authored by Arthur Ashkin and culminated, from the point of recognition, in 2018, when he was awarded the Nobel Prize in Physics „for the optical tweezers and their application to biological systems". This outstanding scientific achievement followed two other Nobel Prizes in Physics that were previously awarded in 1997 for groundbreaking experiments exploiting the transfer of momentum carried by light for cooling of individual atoms and in 2001 for forming Bose-Einstein condensates - macroscopic physical systems that display quantum coherence. In this context, it is quite appropriate to stress that in the 1990', a multitude of very important contributions to the development of this field also came from Japanese groups led by sensei Hiroshi Masuhara and sensei Satoshi Kawata, who have since educated and trained many excellent followers. It was my real pleasure to see many of these researchers collaborating in the “Nano-Material Optical Manipulation” project, which has without any doubt led to a strong revival of optical trapping activities in Japan.

Since its inception, the “Nano-Material Optical Manipulation” project has enhanced the methods and technologies based on optical forces to a qualitatively new level that allows selective manipulation with individual nanoobjects (e.g., molecules, quantum dots, and nanodiamonds



containing NV centers), exploration of inter-particle interactions to control formation of hierarchical structures made of particles with carefully tailored structural and material properties, or steering of chemical processes using selective optical manipulation with reactant molecules. The research activities carried out within the project strategically employ the available technological infrastructure of the participants to explore novel optical manipulation methods, e.g., in cryogenic environments, at interfaces between two liquids, on the surface of black silicon or in the vicinity of tapered optical fibers. These advanced experiments combine nanofluidics with optical micromanipulation and exploit methods based on near-field optical vortices, carbon nanotube cantilevers and nonlinear optical properties of manipulated objects. In a fully unique approach, fruitful collaborations between physicists and chemists joined in the consortium have paved the way to a novel field of “optical trapping chemistry”. Among the first results of this project belonging to this new scientific field, I would like to highlight light-induced chiral arrangements of molecules, formation of amyloid fibrils by optical trapping, crystallization controlled by light polarization, tuning of optical properties of semiconductor and metal nanoparticles, or switching of the optical forces through photochemical reactions. The results of the project research activities are regularly published in top scientific journals (including the Nature family) and the intellectual property obtained through some of them has been protected with patent applications.

Overall, I am impressed by the multidimensional functionality and impact of the project which

- meaningfully interconnects complementary research groups across Japan to boost the scientific agenda in the field of light-induced manipulation and transport,
- effectively informs all the participating groups about the details of the project activities, which supports collaboration and eliminates duplicities in funded research,
- shares expensive equipment among different groups, leading to more efficient funding and strengthening of synergies within the project,
- employs world-class mentors to lead training “dojos” where young researchers are efficiently trained to gain expertise in methods from dissimilar scientific fields, and
- establishes effective multidisciplinary collaborations between physicists, chemists, and engineers, paving the way to the novel discipline of “optical trapping chemistry”.



JUAN JOSE SAENZ 教授を偲んで

石原 一（領域代表）

昨年3月22日に Juan Jose Saenz 先生が急逝されてまもなく1年が経とうとしています。Saenz 先生には本新学術領域研究の海外アドバイザーを務めて頂き、また領域メンバーとの研究会、共同研究での活動等を通し、領域のゴールに向かって一層の御指導を頂こうとしていたところでした。そのような中での突然の訃報に強いショックを受け、領域メンバー全員が大きな喪失感を味わっています。

Saenz 先生は固体物理、光学を専門とする理論物理学者であり、Madrid 自治大学で学位を取得された後、IBM Zurich での研究員、前述大学での教授を経て、2015 年より San Sebastian にある Donostia International Physics Center (DIPC)の教授として活躍されました。先生の業績は走査型トンネル顕微鏡の理論から乱雑媒質系での輸送現象の解明、また新奇光学現象の開拓など多岐に渡りますが、特に近年では光圧物理に関連して、スピン角運動量を持つ不均質な光場での非保存力など、重要な新機構を理論的に提案されてきました。私事で恐縮ですが、筆者らの光圧関連の論文が米国物理学会のオンライン誌 Focus で記事として取り上げられた際にコメントを寄せて頂いたのが Saenz 先生でした。そのようなご縁もあって千葉大学の尾松先生が主催される光マニピュレーション国際会議への御招待などを通して、本領域メンバーとも交流を深めるなか、アドバイザーに就任頂くことになりました。大変フレンドリーなお人柄で世界中の関連するコミュニティで信頼され、慕われていました。本領域の行事をはじめ、同じく領域アドバイザーの増原先生が主催される研究会などで何度もご一緒する機会を頂きましたが、そこでの陽気で親しみやすい先生のお姿が大変印象に残っています。DIPC における研究会での先生のホスピタリティーや、私の学生が DIPC に3ヶ月滞在することを快くお引き受けいただいたことなど、思い出が尽きません。

Saenz 先生は理論物理が御専門でしたがご活躍の分野は幅広く、物理、化学、光学など多彩なコミュニティでの交流をお持ちでした。先生は、ともすればそれぞれの分野ごとに閉じてしまいがちな光圧研究を分野融合的に捉え、それぞれの分野の架け橋となり、それを深い基礎から支えることに貢献されて来ました。本新学術領域の中間評価の際に頂いた先生からのコメントには、特に若手研究者の育成においてそのような学際的視点の重要性が記されていました。我々の新学術領域の活動において常に意識の中心に据えるべき点であると思います。最後になりますが、先生に頂いた評価文から関連する部分を抜粋し、改めて先生への追悼の意を表します。

From my point of view, one of the most important points in this interdisciplinary Project is the organization of “training dojos” where young researchers coming from very different backgrounds (from Physics, Chemistry to Engineering) can learn very different methods and approaches which contributes to the synergy of the research teams. This is not only a key point in the development of the Project but also an investment for other future emerging technologies which certainly will be strongly based on interdisciplinary research efforts. I do really miss the existence of a common Post-graduated (PhD) program or a coordinated Master program to generate a common knowledge and train a new generation of scientist ready to use “optical-force-based” technologies in many different areas of science and technology.



共同研究紹介

金微粒子の生成と光圧による集合状態の生成

鈴木康孝（山口大学創成科学研究科 公募研究）

我々のグループは、鳥本 G との共同研究によりレーザー光照射による金微粒子の in situ 合成と生成した金微粒子の光圧による集合構造の構築を実現しました。この成果は、レーザー光照射に伴う化学反応の制御と、光圧による生成した金微粒子の集合状態の制御を同時に行える珍しい研究例で、レーザー光を通した化学反応の制御に対するマイルストーンとなる研究成果です。

これまでの公募研究では、ナノシートの光圧による操作に関する研究を展開してきました。その中で最近、水と有機溶媒の界面を利用することで、特定のナノシートのみを光輸送し、そのナノシートのみには有機分子を吸着できる技術開発を行いました（図1）。この研究を通して、水-有機溶媒の界面が光圧による化学反応の制御を行う場として適していることを見出しました。この知見を元にレーザー光を吸収する有機物のトルエン溶液と塩化金の水溶液の界面にレーザー光を集光して照射する実験を行いました。その結果、トルエンと水の界面において金の微粒子が生成し、生成した微粒子が

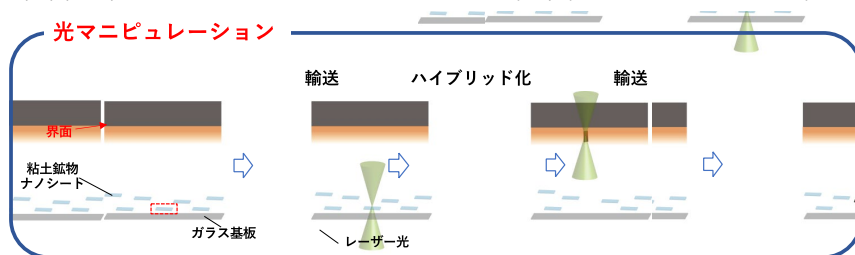


図1 界面を利用した単一ナノシートへの有機分子の吸着の模式

リング状に集合する様子が顕微鏡観察から明らかになりました（図2）。現在、リングの生成メカニズムとしては、有機分子の光吸収に伴う局所的な熱の発生と、発生した熱をトリガーとして金の不均化反応によって金微粒子が生成し、熱による粒子の散逸と光圧による粒子の補足力のバランスでリング状に集積するというメカニズムでリングが生成していると考えています。今回の研究は、共同研究 C「分子の選択的力学操作を通した化学課程の制御」に関連する研究であり、領域の研究推進に貢献できると考えています。

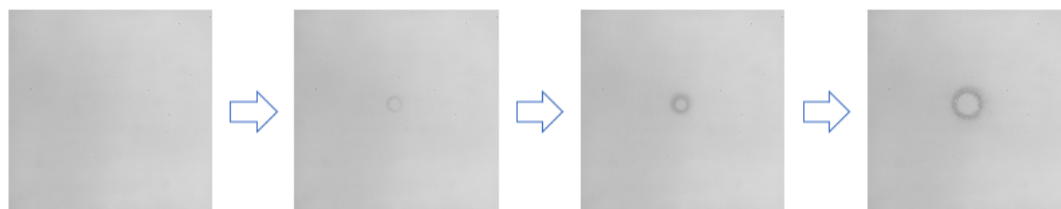


図2 界面での金微粒子の生成とリング状構造の生成