

役に立つ先端増強ラマン散乱顕微鏡の開発

Development of tip-enhanced Raman microscopy as a tool for everyone

理研¹, 東工大² ○早澤 紀彦^{1,2}RIKEN¹, Tokyo Institute of Technology², [○]Norihiko Hayazawa¹

E-mail: hayazawa@riken.jp

現在、様々なナノ材料、ナノデバイスが開発され、ものづくりの上で微小・微細化は欠かせない要素であると言える。多様化するナノテクノロジーに対応する分析手法としては、極低温・高真空といった特殊環境を必要とせず、非接触・非侵襲という利点を兼ねた光学顕微鏡が必要とされているが、光の回折限界のため光学顕微鏡の空間分解能には限界があった。本研究では、空間分解能、更には検出感度を向上させた光学顕微鏡を世界で初めて開発した[**関連論文 1**]。さらに、開発した装置を実験室内の限られた用途にとどめることのないよう、責任をもって多くの方の役に立つ装置へと種々の開発を行ってきたので、その開発の歩みとともに、光学論文賞となった[**受賞論文**]の紹介を行う。

具体的には、光学の教科書では「光の回折限界」(波長の半分~300nm)として原理的に定義される従来の空間分解能の限界を超える感度(<30nm 以下)を有する光学顕微鏡とその顕微分光法を開発。以下主なものを列挙する。

- ・先端増強ラマン散乱顕微鏡を開発し、波長の 1/20 以下である 30nm の空間分解能を達成。倒立光学顕微鏡と原子間力顕微鏡(AFM)による構成を確立[**関連論文 1**]。
- ・先端増強コヒーレントアンチストークスラマン顕微鏡を開発し、波長の 1/50 以下である 15nm の空間分解能を達成した。また、DNA2 重螺旋構造中の DNA 塩基分布の可視化に成功。
- ・不透明ナノ材料およびバルク表面に適応する先端増強ラマン散乱顕微鏡の開発と、それによる歪みシリコンのナノスケール歪み分布評価を行い、CPU 等のナノデバイス評価に適応した。
- ・Z 偏光による先端増強効果の高効率化[**関連論文 2**]。
- ・先端増強効果におけるプラズモン共鳴チューニングによる高再現性を有する近接場プローブの作成法を開発[**受賞論文**]。

本成果の AFM に倒立光学顕微鏡を組み合わせる構成は、先端増強近接場ラマン分光の世界においてスタンダードとなっている。さらに偏光制御による励起効率の高効率化およびプローブデザインの最適化(実際は最適からはまだ遠く、厳密には高再現性といえる)と、手法の”提案~構築~最適化”まで一貫して行ってきた。近年では、表面増強ラマン散乱(Surface enhanced Raman scattering: SERS)との類似性から先端増強ラマン散乱 Tip enhanced Raman scattering (TERS)として認識されている。また、2012 年のラマン分光の国際学会である International Conference on Raman Spectroscopy (ICORS)や近接場光学の国際会議である International Conference on Near-field Optics, Nanophotonics and related Techniques (NFO)など、種々の学会において TERS のセッションが組まれるなど、学术界、産業界で高い注目を集めるに到っている。

[**受賞論文**] Hayazawa, et al., “Highly reproducible tip-enhanced Raman scattering using an oxidized and metallized silicon cantilever tip as a tool for everyone”, J. Raman Spectrosc. 43, 1177 (2012).

[**関連論文 1**] Hayazawa, et al., Opt. Commun. 183, 333 (2000).

[**関連論文 2**] Hayazawa, et al., Appl. Phys. Lett. 85, 6239 (2004).