

研究課題別事後評価結果

1. 研究課題名： 真空紫外コヒーレント光を用いた円二色性生体分光技術の開発

2. 個人研究者名

小西 邦昭（東京大学フotonサイエンス研究機構 准教授）

3. 事後評価結果

本研究では、高い空間分解能と時間分解能を兼ね備えたコヒーレント光の特性を活かして、真空紫外領域の電子遷移に起因する円二色性信号をプローブとする、新たな生体分子ラベルフリーイメージング技術と超高速分子ダイナミクス計測の実現を目指した。

[どのような量子性をどのように扱ったのか]

- ・回転対称性を有する系におけるフォトン(光の量子)の角運動量保存則の概念を応用。
- ・人工ナノ構造の形状を適切に設計することによって、真空紫外領域での第三次高調波発生における角運動量(円偏光状態)を制御。

[達成状況とインパクト]

小西研究者は、誘電体ナノメンブレンを用いた簡便かつ波長可変な真空紫外波長変換手法を確立し、人工ナノ構造を用いた真空紫外円偏光の発生に成功している。従来の技術では0.3nW程度で円二色性分光に利用することは困難であったため、まず本さきがけ研究では、真空紫外光発生手法で円二色性計測が可能な強度を実現できるかを検証する必要があった。このため小西研究者は、光電子増倍管を用いた真空紫外光強度の定量的評価方を確立し、誘電体ナノメンブレン材料の検討などを精力的に続けた。それらの結果、真空紫外波長変換手法では、誘電体自立薄膜(ナノメンブレン)を非線形媒質として用いる独自の発想に基づき、このナノメンブレンに可視光の超短パルスレーザーを入射すると、真空紫外領域で第三次高調波発生が高い効率で生じることを見出している。また、ナノメンブレンに4回回転対称性を有する周期的なナノ開口(フォトリソグラフィ)構造を作製することによって、円偏光の真空紫外第三次高調波が発生することを明らかにし、数値計算シミュレーションによって実験結果を再現するに至った。その成果は、論文発表するとともにプレスリリース*がなされている。さらに最適材料であるSiO₂を用いて、フォトリソグラフィナノメンブレンを自作する手法を開発することにも至っている。超短パルスレーザーの繰り返し周波数と円偏光変調周波数を同期させる手法では、パルス毎に円偏光のヘリシティが切り替わる円偏光超短パルス列を生成し、波長240nm以下の深紫外領域において円二色性スペクトルを計測している。深紫外領域では更なるS/N比の改善が課題としつつも、標準分子の円二色性信号をとらえたことに成功した。このように、真空紫外領域のコヒーレント光(レーザー光)の光強度発生技術と超短パルス光を用いた円二色性計測技術を確立したことは高く評価できる点であり、当初目標を達成していると評価できる。

本技術がどのような生命活動・分子挙動への計測に応用できるかの方向性について、小西研究者はコヒーレント光の集光性及び短パルス性によって、タンパク質・アミノ酸・糖類などに由来する電子円二色性信号の空間分布や光励起超高速ダイナミクスの計測を挙げている。例えば、アルツハイマー病のβアミロイド質凝集体の円二色性イメージング、タンパク質の光励起超高速ダイナミクスを観測する可能性などである。本研究でフォトリソグラフィナノメンブレンの高度な設計・製作技術が着実に実現したことは素晴らしく、開発した装置で様々な生物試料への応用展開を期待したい。

*<https://www.jst.go.jp/pr/announce/20200721/pdf/20200721.pdf>