



## 【固体科学研究の概要】 物質科学分野における EUV-FEL 利用

玉作賢治 独立行政法人理化学研究所播磨研究所 〒679-5148 兵庫県佐用郡佐用町光都 1-1-1  
独立行政法人科学技術振興機構さきがけ 〒332-0012 埼玉県川口市本町 4-1-8

本特集号の EUV-FEL では、波長 51~61 nm (エネルギーにして約 20~25 eV) の極端紫外 (EUV, extreme ultra-violet) 光を利用できる。固体でのよく知られた EUV 光利用というと、半導体微細加工のリソグラフィが挙げられるだろう。回路パターンを露光転写する波長を短くできれば、より集積度が上がる。では、学術分野ではどうであろうか？

まずヘリウムの輝線 (約 21 eV) を利用した光電子分光が挙げられる。EUV 光の照射により放出される光電子を観測することは、物質の特性を決定する電子を直接見ることに対応し、基礎から応用まで物性研究の極めて有力な手法である<sup>1)</sup>。これは EUV 光のエネルギーが物性上重要な電子の束縛エネルギーよりも十分高いからで、第 2 の利用例につながる。物質の光学応答の研究には反射率測定が使われることが多い。反射率を Kramers-Kronig 変換すれば、より本質的な物理量である誘電関数が得られる<sup>1)</sup>。この積分変換には無限大までのデータが必要だが、先の理由により EUV 領域まで反射率測定すれば十分な精度が得られる訳である。

これまでの EUV 光と固体を用いた研究というと、上述の光電子分光と反射率測定がメインであったと思う。しかし、「新しい光が新しい科学を創成する」というのは光科学での常套句であり、次ページからの 3 氏の報告を見ると今回もこれが当てはまるのではないかと思う。

Fig. 1 に模式的に固体のエネルギー図を示し、3 氏が利用した物理的な過程を書き込んだ。孤立原子では外殻の電子は離散的なエネルギー準位を持つが、固体になると結晶中を動き回り連続的な“バンド”を形成する。EUV 光のエネルギーは十分高く、バンドを形成しない内殻準位まで届く。米田氏は物質のエネルギー準位と EUV 光の関係をj利用して、内殻にホールを持つ原子からなる固体 (hollow atom solid) の生成を目指しつつ、新しい非線形光学現象の観測と能動的な光学素子の研究を行っている。福田氏は高エネルギーの EUV 光で点欠陥を導入し、LiF の大きなバンドギャップ内に色中心 (color center) を生成している。色中心は極めて小さく、超高解像度の大面積画像検出器が実現できる。猿倉氏の報告では鉄をドーピングすることで ZnO の励起状態から素早く緩和させて、EUV 領域での高

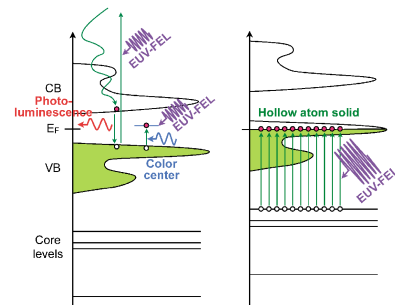


Fig. 1 Schematic energy diagram of the processes described in the three reports. Left panel for insulators shows the fast ZnO scintillator and the LiF imaging device using color centers. Right panel for metals shows the hollow atom solids. CB, VB, and  $E_F$  indicate the conduction band, the valence band, and the Fermi energy, respectively.

速シンチレーターの開発している。これはフェムト秒赤外レーザーと FEL とのタイミング調整や同期精度評価への応用が期待される。

今回の報告では EUV という短波長領域で、これまで利用しづらかった高輝度という特性、また、100 fs 程度の超短パルスであるという特性が活かされている。ところで最近 (FEL ではないが) EUV 光を用いた強誘電体 ( $\text{BaTiO}_3$ ) の研究報告があった<sup>2)</sup>。ここでは  $\text{BaTiO}_3$  表面からの反射光に現れるスペckルから相転移近傍のダイナミクスを議論している。今後、空間コヒーレンス (可干渉性) という特性の積極的な利用も進むと考えられる。さらに現在研究開発中のシーディング方式<sup>3)</sup>の発振に成功すれば、完全コヒーレントな高強度・短パルス EUV レーザーが実現され、固体研究分野での飛躍的な展開が期待される。

本稿をまとめるにあたって、米田仁紀氏 (電気通信大学)、高田恭孝氏 (理化学研究所)、福田祐仁氏 (日本原子力研究開発機構)、猿倉信彦氏 (大阪大学) には有益な議論を頂いたことを感謝する。

### 参考文献

- 1) 例えば、実験物理学講座 8・分光測定 (菅滋正, 榎田孝司編, 丸善, 1999)。
- 2) K. Namikawa *et al.*: Phys. Rev. Lett. **103**, 197401 (2009)。
- 3) G. Lambert *et al.*: Nature Phys. **4**, 296 (2008)。