

磁気圏撮像のための高エネルギー分解能超伝導トンネル接合素子によるEUV検出器の開発（I）

Development of High-Resolution Superconducting Tunnel Junction EUV Detector for Global Imaging of Magnetosphere (I)

滝澤 慶之 [1], 池田 時浩 [1], 大谷 知行 [1], 大谷 航 [1], 奥 隆之 [1], 加藤 博 [1], 川井 和彦 [1], 佐藤 広海 [2], 清水 裕彦 [1], 宮坂 浩正 [1], 渡辺 博 [1]

Yoshiyuki Takizawa [1], Tokihiro Ikeda [1], Chiko Otani [1], wataru Ootani [1], Takayuki Oku [1], Hiroshi Kato [1], Kazuhiko Kawai [1], Hiromi Sato [2], Hirohiko M. Shimizu [1], Hiromasa Miyasaka [1], Hiroshi Watanabe [1]

[1] 理研, [2] 理研・宇宙放射線

[1] RIKEN, [2] Cosmic Radiation Lab., Riken

地球周辺の宇宙空間環境を、ただちに概観・観測するための新たな計測技術として地球周辺のプラズマ (He^+ , O^+) により共鳴散乱された太陽からのEUV光を利用した可視化の研究が進められている。現在用いられている多層膜反射鏡、金属薄膜フィルター、MCPの構成の光学系の集光、検出能力は頭打ちの状態である。このような手法を用いる主な理由は、EUV領域において高いエネルギー分解能を有し、高い量子効率を持つ検出器が皆無であることに起因する。この為、EUV領域で高いエネルギー分解能を有した超伝導トンネル接合素子検出器 (STJ) の開発を進めている。今回は、STJの紹介と最近の実験結果について報告する。

これまで、地球周辺の宇宙空間環境 (プラズマ圏/磁気圏) は、人工衛星による「その場」の直接観測により研究が進められてきたが、観測された現象の時間的変化と空間的变化を分離する事は困難であった。近年、広大な地球周辺の宇宙空間環境を、ただちに概観・観測するための新たな計測技術として地球周辺のプラズマ (He^+ , O^+) により共鳴散乱された太陽からのEUV光を利用した可視化・撮像の研究が進められている。現在用いられている多層膜反射鏡、金属薄膜フィルター及びMCPの構成による光学系の集光、検出能力は頭打ちの状態である。このような手法を用いる主な理由は、EUV領域において高いエネルギー分解能を有し、高い量子効率を持つ検出器が皆無であることに起因する。これらの観測の最大の技術的課題は、 He^+ (30.4nm) の場合、地球周辺の中性Heガスから放射される10倍の強度を持つ58.4nmの混入を抑制することである。また、 O^+ (83.4nm) の場合も、10の6乗倍の強度を持つ、地球周辺のHガスから放射されるライマン α 線 (ジオコロナ) (121.6nm) の混入を抑制しなければならない。この為、EUV領域で高いエネルギー分解能を有した超伝導トンネル接合素子 (Superconducting Tunnel Junction 以下、STJと称する) 検出器の開発を進めている。STJにより、従来のMCPを用いた光学系に比べ、光量として10~20倍の明るさに高めることができる。さらに、単一の光学系で、複数の波長での同時観測を行うことが可能となり、プラズマ圏/磁気圏の活動のより精細な観測が期待出来る。

STJとは、薄い絶縁膜を超伝導金属薄膜で挟み込んだ構造を持つジョセフソン素子の一種である。EUV検出器としての動作原理は以下の通りである。STJにEUVが入射してそのエネルギーが超伝導膜に吸収されると、超伝導膜中のクーパー対の解離及びフォノンの発生を引き起こし、発生したフォノンがさらにクーパー対を解離する、といった過程が0.001 nsec程度の時間で生じる。この時に生じた準粒子が量子力学的トンネル効果で絶縁膜を通過することで入射光のエネルギーに比例した電流が発生し、信号として取り出だされ、検出器として動作する。

STJは、X線などの電磁波領域や高エネルギー粒子などの分野では多く研究されているが、EUV領域での研究はほとんど行われていない。これは、性能の良い汎用的なEUV検出器が無かったなどの理由から、極端紫外領域を利用する研究が発展せず需要がほとんどなかったことが原因の一つと思われる。吸収により信号を発生させるSTJは、物質に良く吸収されるEUVに適している。STJの性能は、発生した準粒子を電流として収集する効率に依存している。準粒子が電流として収集されずに散逸する過程として、(i) 膜の欠陥でのトラップ、(ii) 絶縁膜のピンフォールや素子の端からのリーク、(iii) 基板への散逸、等が考えられる。

昨年度、理化学研究所に導入されたSTJ用プロセス装置群を使用し、前述の性能を左右する発生した準粒子の減少を抑え、EUV検出素子として最適な条件をの探索を行っている。原子間力顕微鏡による膜の観察、素子の電流電圧特性の測定、X線/EUVスペクトルの測定を通して系統的に研究を進めている。

実際に、素子構造が、Nb/Al/Al₂O₃/Al/NbのSTJを製作を行った。現在、EUV評価装置は、構築中であるため、X線による評価を行ったところ、この素子はX線 (5.9keV) で、約100eVの分解能を示した。今回は、STJの基本特性の紹介と最近の実験結果について報告する。