

氏名 鞠 重 山

学位（専攻分野） 博士（学術）

学位記番号 総研大甲第195号

学位授与の日付 平成8年3月21日

学位授与の要件 数物科学研究科 核融合科学専攻  
学位規則第4条第1項該当

学位論文題目 Development of an Imaging VUV Monochromator in  
Normal Incidence Region

論文審査委員 主査教授 須藤 滋  
教授 濱田 泰司  
助教授 俵 博之  
助教授 居田 克巳  
教授 山下 廣順（名古屋大学）  
助教授 佐藤 國憲

（核融合科学研究所）

## 論文内容の要旨

In high temperature laboratory plasmas used for fusion research, there are considerable spatial variations of plasma parameters from the central part to the plasma edge. Spectroscopic diagnoses in the vacuum ultraviolet (VUV) region, therefore, require instruments which provide spatially resolved measurements for accurate determination of radiative power losses and impurity concentrations. Especially, the spatial distributions of different impurity ions are useful for understanding the impurity transport and confinement properties. In non-axisymmetric plasmas or plasmas with complicated spatial structure, two-dimensional image measurement like human eyes' observation may be attractive. For this purpose, we have developed a two-dimensional imaging monochromator system in VUV wavelength region from 40.0 to 200.0 nm.

The imaging is achieved with utilizing the pinhole camera effect created by an entrance slit of limited height. The point is that for near normal incidence, the sagittal focusing (perpendicular to the dispersion plane) of a diffracted light is produced at outside across the exit slit. Then, by displacing a two-dimensional detector away from the exit slit, a one-to-one correspondence between the position of a point on the detector and where it originated in the source is accomplished. The important features of our scheme are two-dimensional imaging which does not require a stigmatic property for focusing and easy fabrication with minor modifications of a commercial normal incidence monochromator.

A 1-m normal incidence monochromator with off-Rowland circle mounting is used for this imaging system. The equipped spherical concave grating has the ruling of 1200-lines/mm and is blazed at 150.0 nm. The detector system consists of two subsystems: a two stages microchannel plate image intensifier assembly and a charge coupled device camera.

Ray tracing has been performed to evaluate the imaging properties in the practical geometric configuration and to determine the detector position from the exit slit. The focusing property perpendicular to the dispersion plane was verified by the simple experiment using Hg source and photographic film and compared to the result of ray-tracing.

In order to measure the spatial resolution and the relative sensitivity on spatial coverage of the imaging system, a stationary arc discharge (TPD-S) was developed as a light source. In order to measure the spatial resolution of the imaging system, an aperture mask has been settled to the position of 40 cm in front of the entrance slit. The measured spatial resolution is about 0.5 mrad and 1 mrad in the dispersion and vertical plane, respectively, with the entrance slit of 0.1 mm width and height. The spatial sensitivity was also tested using a mercury lamp or the TPD-S apparatus for the VUV wavelength region. The flat sensitivity

was concluded in the direction perpendicular to the dispersion plane. However, it was found that there is a strong non-uniformity of the sensitivity in the direction of the ion plane, depending on the observed wavelengths and the blazed wavelength of the used grating. This strong variation in horizontal sensitivity is recognized as an effect of the blazed concave grating. The usefulness of the imaging system was demonstrated by applying to the experiment of JIPP T-IIU tokamak plasma.

The measured distribution of C IV emission at 154.82 nm shows that C IV ion is concentrated in the radial position of ~20 cm (The limiter radius is ~23 cm) and spreads uniformly in the toroidal direction. The differences of the radial distributions which depend on ion species and their ionization stages have been observed on the emission lines of Li-like impurity C IV 154.82 nm N V 123.88 nm and O VI 103.19 nm. Temporal behaviors of the radial distribution have been also measured for O VI emission line at 103.19 nm.

We have analyzed and tested the system of imaging monochromator based on pin-hole techniques. The optical characteristics of the system appear promising. In principle, the non-uniformity problem of the sensitivity in the dispersion plane may be solved with an introduction of a non-blazed holographic grating. The interchangeable grating mount equipped with several gratings with different blazed wavelengths is thought to be useful in practice. By incorporating a multilayer coated grating, which can produce high reflectivity at non-grazing angles as Bragg reflectors, the imaging system shown here will be applicable even in the extreme-ultraviolet and soft x-ray region.

## 論文の審査結果の要旨

40nmから200nmの範囲のVUV波長領域において、単一の波長の2次元画像を観測できるグレーティング分光システムを初めて製作した。入射スリットをピンホールにして、出射スリットで単一の波長を切り出した後、縦焦点位置よりも後ろに2次元検出器を置く。この2次元画像は暗いので2段のマイクロチャンネルプレート(MCP)で光を増幅したのち、ファイバーアレイなどを經由してCCDカメラで電気信号に変換する。

基本となっているのは1mの直入射型分光器である。入射スリットの幅 $20\mu\text{m}$ 、高さ $100\mu\text{m}$ の場合についてレイ・トレーシングを行い、収差の検討を行った結果、像の性質は良好であり、計測目的に十分耐えうるものであることが分かった。このレイ・トレーシングの解析を実験的に確認するため、水銀ランプを入射スリット前に置き、射出スリット後30cmの位置に写真フィルムを置いて、2次元画像を調べた。その実験結果はレイ・トレーシングによる解析結果と良く一致することが分かった。

定常アーク放電(TPD-S)を光源にして、空間分解能や感度の一様性(またはグレーティングの回折効率の一様性)について調べた。その結果、入射スリットの幅 $100\mu\text{m}$ 、高さ $100\mu\text{m}$ の場合、分散方向には $0.5\text{mrad}$ 、垂直方向には $1\text{mrad}$ の空間分解能であることが分かった。感度については垂直方向には一様性が認められるが、分散方向には強い非一様性が観測された。これは凹面型のグレーティングのブレード特性が原因で、非一様性の傾きは観測波長とのブレード波長の関係に依存すると推測される。この非一様性に関して、理論計算による評価と実際のデータとの比較及び考察を行った。その結果、非一様性がグレーティングのブレード特性で大略説明できることが分かった。

この分光器をJIPPT-IIU トカマクに設置し、観測を実施した。その結果、C IV ( $154.82\text{ nm}$ )、N V ( $123.88\text{ nm}$ )、O VI ( $103.19\text{ nm}$ )のラインの半径方向の空間分布を得た。トロイダル方向には一様であることを確認した。O VI ( $103.19\text{ nm}$ )のラインについては半径方向の空間分布の時間変化も観測した。

以上のように、VUV波長領域における時間変化をとまなう2次元計測を行う為の計測器を初めて開発し、また、プラズマ計測にこの計測器を適用し、2次元画像のデータ取得を実証したことは評価できる。また、権威ある学術誌に本研究に基づく論文を投稿し、論文審査を経た上で掲載が決定されている。これらのことから、本委員会は、本論文の独創性と当該分野への貢献の程度から判断して、博士学位論文として十分な資格があると認めた。

また、論文審査委員全員の前で出願者に口頭試問を実施し、論文内容に関する質疑及び関連する基礎知識についての試験を行った。その結果、適切に研究内容を理解していることが示された。基本的事項についても、直接的に関連している物理光学については十分に理解している。

以上により、博士論文を合格とした。