

# レーザー誘起ブレークダウン発光分光法による ウランスペクトルの測定 —高分解能分光スペクトル（350-470nm）—

Measurement of Uranium Spectrum using Laser Induced Breakdown Spectroscopy  
—High Resolution Spectroscopy (350-470nm)—

赤岡 克昭 大場 正規 宮部 昌文 音部 治幹  
若井田 育夫

Katsuaki AKAOKA, Masaki OBA, Masabumi MIYABE, Haruyoshi OTOBE  
and Ikuo WAKAIDA

福島研究開発部門  
廃炉国際共同研究センター  
燃料デブリ取扱・分析ディビジョン

Fuel Debris Handling and Analysis Division  
Collaborative Laboratories for Advanced Decommissioning Science  
Sector of Fukushima Research and Development

本レポートは国立研究開発法人日本原子力研究開発機構が不定期に発行する成果報告書です。  
本レポートの入手並びに著作権利用に関するお問い合わせは、下記あてにお問い合わせ下さい。  
なお、本レポートの全文は日本原子力研究開発機構ホームページ (<http://www.jaea.go.jp>)  
より発信されています。

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構 研究連携成果展開部 研究成果管理課  
〒319-1195 茨城県那珂郡東海村大字白方 2 番地4  
電話 029-282-6387, Fax 029-282-5920, E-mail:[ird-support@jaea.go.jp](mailto:ird-support@jaea.go.jp)

This report is issued irregularly by Japan Atomic Energy Agency.  
Inquiries about availability and/or copyright of this report should be addressed to  
Institutional Repository Section,  
Intellectual Resources Management and R&D Collaboration Department,  
Japan Atomic Energy Agency.  
2-4 Shirakata, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken 319-1195 Japan  
Tel +81-29-282-6387, Fax +81-29-282-5920, E-mail:[ird-support@jaea.go.jp](mailto:ird-support@jaea.go.jp)

## レーザー誘起ブレークダウン発光分光法によるウランスペクトルの測定 - 高分解能分光スペクトル (350-470nm) -

日本原子力研究開発機構  
福島研究開発部門 廃炉国際共同研究センター  
燃料デブリ取扱・分析ディビジョン  
赤岡 克昭、大場 正規、宮部 昌文、音部 治幹<sup>+</sup>、若井田 育夫

(2015年7月23日 受理)

低除染のマイナーアクチノイド (Minor Actinide: MA) 含有混合酸化物 (Mixture Oxide: MOX) 燃料等、 $\gamma$ 線や中性子線の影響が排除できない燃料の分析や、福島第一原子力発電所事故で生成された燃料デブリの分析等、高い放射線場での核燃料物質の分析では、迅速かつ簡便な遠隔分析手法の開発が不可欠となっている。レーザー誘起ブレークダウン発光分光法 (LIBS) は非接触で直接しかも迅速に分析が可能な方法の一つであり、これらの分析への適用が重要視されている。

LIBS を用いた核燃料物質の組成・不純物分析においては、核燃料物質であるウラン (U) やプルトニウム (Pu) 等の複雑でスペクトル密度が高い発光スペクトルと不純物のスペクトルとを明確に区別することが重要である。そのためには、これら核燃料物質の LIBS による発光スペクトルを明らかにする必要がある。そこで、波長分解能が  $\lambda/50000$  の高分解能 Echelle 型分光器を用いて、350~470nm の波長域の天然ウランの発光スペクトルを測定した。測定したスペクトルについて分光器の感度及び波長の較正を行うことにより、分析に使用可能と思われるスペクトルを同定し、LIBS 用データとしてまとめた。また、エネルギー準位、振動子強度を明らかにするとともに、測定したスペクトルの波長及び振動子強度の評価値が公表されている値と矛盾なく一致することを示し、本データの信頼性を確認した。更に、新たなウランのスペクトルの同定を可能とする測定波長と絶対波長の相関及び測定振動子強度と既知の振動子強度の相関を求めた。

---

原子力科学研究所(駐在) : 〒319-1195 茨城県那珂郡東海村大字白方 2-4  
+原子力基礎工学研究センター 燃料・材料工学ディビジョン

**Measurement of Uranium Spectrum using Laser Induced Breakdown Spectroscopy  
-High Resolution Spectroscopy (350-470nm)-**

Katsuaki AKAOKA, Masaki OBA, Masabumi MIYABE,  
Haruyoshi OTOBE<sup>+</sup>and Ikuo WAKAIDA

Fuel Debris Handling and Analysis Division  
Collaborative Laboratories for Advanced Decommissioning Science  
Sector of Fukushima Research and Development  
Japan Atomic Energy Agency  
Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken  
(Received July 23, 2015)

It is important to analyze the next generation nuclear fuel materials containing minor actinide (MA) and the fuel debris generated at the accident of Fukushima Daiichi Nuclear Power Station. Therefore, the remote analysis for nuclear fuel materials using Laser Induced Breakdown Spectroscopy (LIBS) is studied.

For applying LIBS to the analysis of nuclear fuel materials, it is very important to identify the emission spectrum and its intensity on impurities intermingled within complex emission spectra of matrix elements such as uranium (U) and plutonium (Pu). Then, the high resolution spectra of natural uranium of wavelength region of 350-470nm are measured using LIBS, 247 atomic spectra and 294 single ion spectra were identified. We have confirmed that the measured wavelength and oscillator strength of spectra are consistent with published values.

Keywords: Laser Induced Breakdown Spectroscopy, Natural Uranium, Nuclear Fuel, Echelle Spectrometer

---

+ Fuels and Materials Engineering Division, Nuclear Science and Engineering Center

## 目 次

1. 緒言 -----	1
2. 実験及び測定結果 -----	1
3. 解析 -----	3
3.1. 分光システムの感度較正 -----	3
3.2. スペクトルの同定及び波長較正 -----	4
3.3. プラズマ温度、遷移確率、振動子強度の算出 -----	5
4. 結言 -----	7
謝辞 -----	8
参考文献 -----	8
付録 -----	11
付録 1 天然ウランスペクトル -----	13
付録 2 天然ウランスペクトルデータ -----	39

## Contents

1. Introduction -----	1
2. Experiments and results -----	1
3. Analysis -----	3
3.1. Calibration of sensitivity -----	3
3.2. Calibration of wavelength and identification of spectra -----	4
3.3. Calculations of plasma temperature, transition probability and oscillator strength -----	5
4. Concluding remarks -----	7
Acknowledgements -----	8
References -----	8
Appendices -----	11
Appendix 1 Measured spectra of uranium -----	13
Appendix 2 Identified spectra data of uranium -----	39

This is a blank page.

## 1. 緒言

レーザー誘起ブレークダウン発光分光法 (LIBS: Laser Induced Breakdown Spectroscopy) は、パルスレーザー光を試料に照射し、そこから発生するプラズマ発光を分光することにより、その場でリアルタイムに固体・液体・気体等を構成する元素組成を分析する方法である<sup>1)</sup>。この LIBS による分析はレーザー及びレーザー光集光器、プラズマ発光集光器とその発光を分光する分光器等の非常に簡単な装置構成で計測が可能であり、試料の元素組成を ppb から数% の広い濃度範囲で測定が可能である。このことから、これまでに国内外で基礎から応用まで、数多くの研究がなされている<sup>2),3)</sup>。この LIBS による分析法は原子力分野においても研究が行われ、核燃料物質中に含まれる数 100 ppm の不純物についての適用研究例もあり<sup>4)</sup>、再処理工程の管理分析への導入についても検討が始まっている<sup>5)</sup>。我々は資源の有効利用や環境負荷の低減、更には核拡散抵抗性等の利点があることから、次世代炉心燃料として利用が検討されている<sup>6)</sup>低除染のマイナーアクチノイド (Minor Actinide: MA) 含有混合酸化物 (Mixture Oxide: MOX) 燃料へ LIBS を適用するための研究<sup>7)-18)</sup>を進め、U や Pu の分析で障害となる強いγ線や中性子線の影響を低減し得る手法として LIBS による遠隔分析性能を評価してきた。さらに、本手法は東京電力福島第一原子力発電所における炉心溶融事故で生成された燃料デブリのその場遠隔分析へ適用できる可能性が高いことから、その適用研究を開始しており、分析に不可欠となる核燃料物質の分光データを取得している<sup>19)</sup>。

LIBS においては、分析に使用する試料のスペクトルの単独性やスペクトル強度等のスペクトル自身の特性と共に、測定時のスペクトルの安定性や高い精度を得るために、そのスペクトルに関与するエネルギーレベルを明らかにすることが重要である。これらの目的のために、これまで測定波長域が 250~1050nm で分解能が  $\lambda/8000$  の Echelle 型広帯域分光器でウランスペクトルの分光を行い、データとしてまとめた<sup>9)</sup>。しかし、分解能が低く、隣接するスペクトルと重なり合い、干渉するために、LIBS に使用できる適当なスペクトルは、限られたスペクトルのみであった。更に、定量分析をするためにはスペクトルのデコンボリューションなどの複雑な解析を必要とした<sup>7),10),18)</sup>。そこで、分解能  $\lambda/50000$ 、同時測定可能波長域 350~470nm の Echelle 型高分解能分光器を導入した。

本報告では、分解能  $\lambda/50000$  の Echelle 型分光器を用いることにより、低除染 MOX 燃料や溶融燃料デブリの分析へ LIBS を適用する際に必要となる詳細なウランスペクトルを改めて測定・同定した結果について報告する。更に、未知のスペクトルの中からウランのスペクトルとして同定し、評価するために有用である分光器の絶対波長に対する測定波長の相関及び振動子強度の公表値に対する測定値の相関について議論する。

## 2. 実験及び測定結果

実験装置の概要を Fig. 1 に示す。実験はグローブボックス内に設置した密閉できる分析容器内を 2kPa の Ar ガスで満たし、その中に試料を設置して行った。使用した試料は、天然ウランの酸化物粉末 UO<sub>2</sub> 数 100mg を約 16MPa の圧力でプレス成型器により厚さ約 1mm、直径約 6mm の

ディスク状に圧縮成型し、NUCEF 施設内の鉄セル (TRU-HITEC) に設置してある高温ヒーターを用いて温度 1650K で 16 時間、4%H<sub>2</sub>/He 還元雰囲気中にて焼結した。使用したレーザー光源は Q スイッチ Nd:YAG レーザー (Brilliant Eazy) で、ビーム径 8mm、波長 532nm、繰返し数 10Hz、パルス幅 5ns である。レーザー光強度は波長板と偏光ビームスプリッターキューブを用いて 5m J/pulse に調節した。

このレーザー光を光学窓を通してグローブボックス内に導き、焦点距離 200mm の平凸レンズで分析容器内の試料表面に直上から 100 パルス集光照射した。発生したブレークダウン発光は分析容器の外で、レーザー入射方向とは垂直をなす角度から焦点距離 60mm、有効径 50mm の蛍光集光器で NA=0.22、コア径 0.4mm の紫外グレードの石英ファイバーに集光し、このファイバーによりグローブボックス外に導き出した。グローブボックス外ではこのブレークダウン発光を ICCD カメラ付 Echelle 型高分解能イメージング分光器(LT-BARYELLE 400)により時間分解分光を行い、350~470nm の範囲のスペクトルについて測定した。なお、測定に際してはレーザー光 100 パルス分を ICCD 上で積算した。レーザー照射から観測までの観測遅延時間と観測時間幅は、それぞれ 5 μ s、10 μ s に設定した。実験パラメータ等の詳細を Table 1 に示す。なお、これらの実験条件は我々が通常 LIBS で使用する値とほぼ同等である。

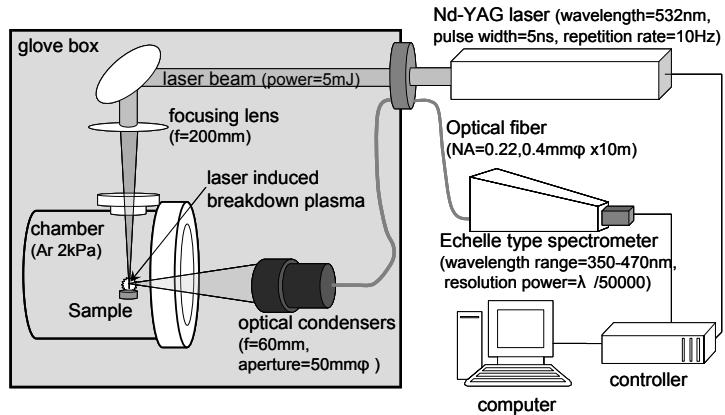


Fig. 1 Experimental setup

Table 1 Experimental conditions and apparatuses

<i>Laser</i>	<i>Q-switched Nd-YAG laser (Brilliant Eazy / Qaunel)</i>
Wavelength	532 nm
Pulse width	5 ns
Repetition rate	10 Hz
Energy	5 mJ/pulse
Beam diameter	8mm
Focal length of focusing lens	200mm
<i>Spectrometer</i>	<i>Echelle Spectrograph (ARYELLE 400 / LTB)</i>
Resolution of wavelength	λ/50000 (@3pixels)
Range of wavelength	350~470nm (@1shot)
Delay	5 μ s
Gate duration	10 μ s
Number of integrate	100
Optical fiber	200-1050nm transmission/ 400 μ m core/ 10m length
Optical condenser	50mm aperture / 60mm focus length
<b>Atmosphere</b>	Ar (2kPa)

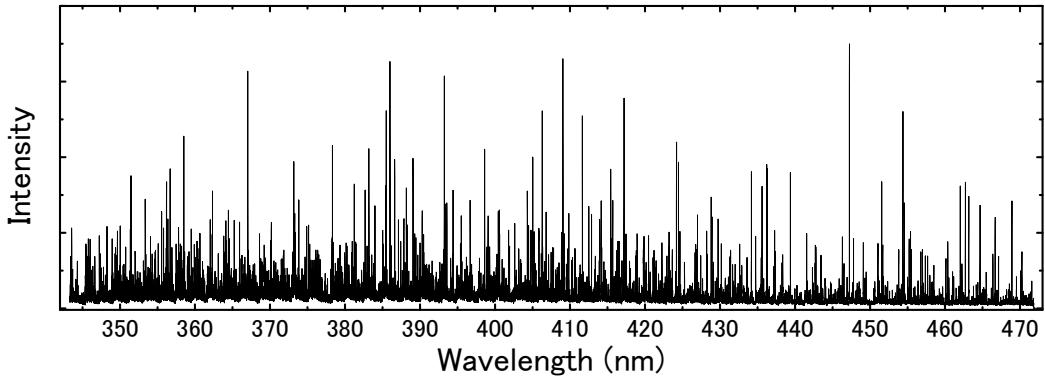


Fig. 2 Emission spectra of natural Uranium

Fig. 2 に ICCD 上で 100 パルス積算測定したスペクトルを 100 サンプル測定し、それらを更に積算したスペクトルの全体像 (350~470nm) を示す。約 120nm の範囲に非常に多くのスペクトルが混在していることがわかる。なお、今回導入した分解能  $\lambda/50000$ 、同時測定可能波長域 350~470nm の Echelle 型高分解能分光器と従来使用してきた測定波長域が 250~1050nm で分解能が  $\lambda/8000$  の Echelle 型広帯域分光器の測定スペクトルの比較を Fig. 3 に示す。このスペクトルからスペクトルの半値幅が 0.064nm から 0.007nm と約 1/10 に狭くなり、より詳細にスペクトルが分解され、従来判別つかなかったスペクトルの分解・同定が可能になっているのが判る。

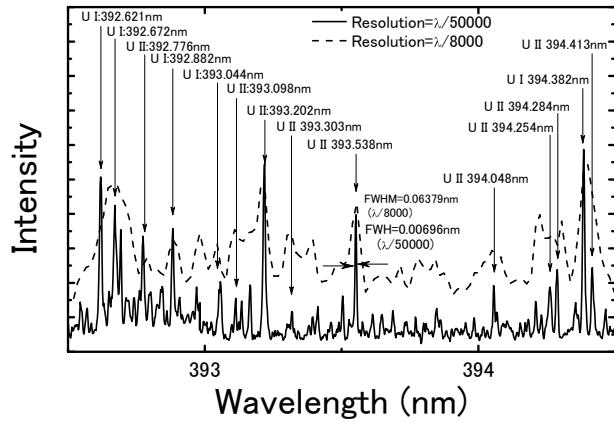


Fig. 3 Difference of the spectrum by the resolving power

### 3. 解析

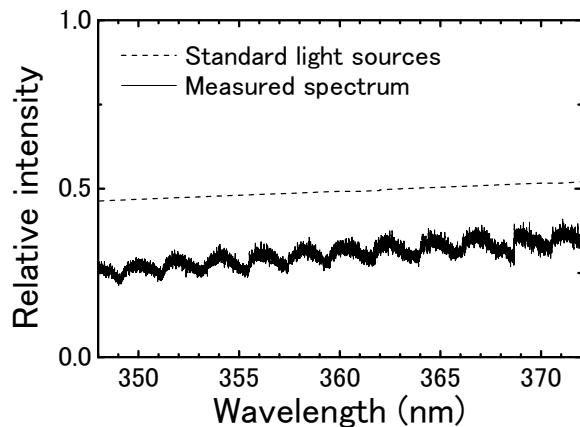
#### 3.1. 分光システムの感度較正

Echelle 型分光器は、その原理上、多くの次数の回折光を同時に測定しているため、スペクトル強度を広範囲で比較する場合には、検出素子である ICCD カメラの感度に加え、それぞれの次数における感度をも較正する必要がある。例えば Fig. 4 に示した連続光である標準光源 (L7810-02/浜松ホトニクス) 光を Echelle 型分光器で測定したスペクトルを見ると、破線で示したほぼ直線の放射照度を持つ標準光源のスペクトルが、約 2nm 間隔で山のような盛り上がったスペクトルとして観測される。これが、Echelle 型分光器の特徴であり、それぞれの山は異なる次数で回折したスペクトルである。このような各回折次数による多くの山がスペクトルにあらわれるため、他の

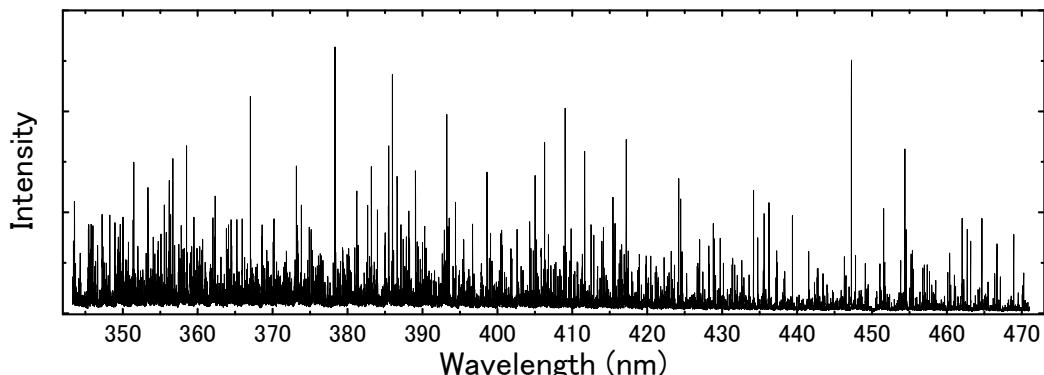
分光器により得られたスペクトルとの比較が困難であるだけでなく、同じ分光器内における異なる回折次数に現れるスペクトルの強度の直接比較も難しくなる。

そこで、我々は上で測定した際に用いた集光器、光ファイバー、分光器など、同じ光学系を用いて、あらかじめ分光放射照度の判っているキセノンランプの標準光源 (L7810-02/浜松ホトニクス) を分光し、標準光源の分光放射照度のスペクトルをその測定スペクトルで除したスペクトルをファクターとして、測定された先のウランのスペクトルに乗ずることに

よりスペクトルの強度を較正した。その結果を Fig. 5 に示す。較正前のスペクトルと比較すると各スペクトルの強度が異なっているのが判る。



**Fig. 4 Emission spectra (350-370nm range) of Standard light source**



**Fig. 5 Calibrated spectra of natural Uranium**

### 3.2. スペクトルの同定及び波長較正

これらの結果を元に Fig. 5 で示した範囲のウランスペクトルについて同定を行った。スペクトルの同定には、スペクトル解析ソフト PLASUS SpecLine と Center for Astrophysics (CfA) の Atomic and Molecular Physics (AMP) Science Group がインターネットで公開しているデータベース<sup>20</sup>を使用した。なお、同定は大気波長で行った。ウランでは多くのスペクトルが存在し、その中には原子やイオン等のいまだに同定されていないスペクトルが多数混在している。一般的に分光器の波長精度は絶対波長精度よりも相対波長精度のほうが優れている。従って、これらのこと考慮してスペクトルの同定を行わなければならない。そこで、データベースに掲載されているスペクトル同士の波長差を相対波長として、該当するスペクトルの波長差の組み合わせが一致する測定スペクトルを抽出することにより、スペクトルの同定を行った。この際、信頼性が低

い測定スペクトルの絶対波長はICCDの分解能(3ピクセル)の5倍を基準に±15ピクセル(絶対波長で $\pm \lambda/10000$ )程度の範囲内で探索した。また、隣接するスペクトル間の相対的な波長差が分解能の2倍(相対波長で $\pm 2\lambda/50000$ )程度の範囲内に収まるように探索した。この様にして CfA のデータベースに登録されているデータと比較することによって同定を行った結果、分析に使用可能と思われるスペクトルとして、原子スペクトル 247 本、一価のイオンスペクトル 294 本を見出した。これらは CfA のデータベ

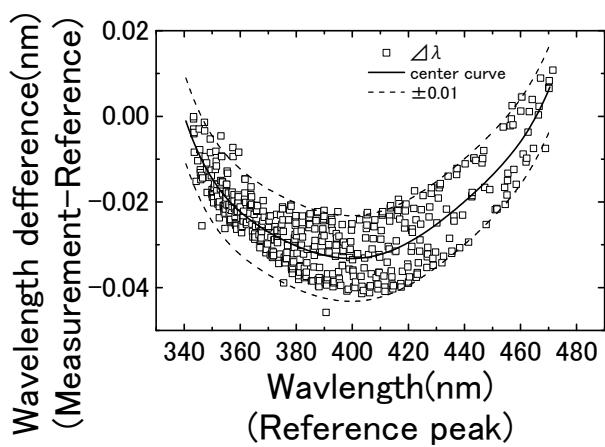
ースで明らかになっているこの波長域のスペクトルのほぼ全てである。従来使用してきた分解能 $\lambda/8000$ の分光器で測定されたスペクトル数が、同じ波長域においては、原子スペクトル 89 本、一価のイオンスペクトル 204 本であり、これらに比較してより多くのスペクトルを確認することができた。

次に、同定したスペクトルの波長精度について考察した。Fig. 6 に同定したスペクトルについて分光器によって観測された指示波長とリファレンスの波長<sup>20)</sup>との波長差をリファレンスの波長でプロットした図を示す。図に示した曲線のうち、実線は波長差の中心値を示し、破線は中心値±0.01nmの曲線である。横軸のリファレンス波長に対して波長差は絶対波長の差を表し、最大でも-0.04nm/400nmであることから、絶対波長精度は $\pm \lambda/10000$ 以下であることが判る。また、横軸のリファレンスの波長に対する波長差の幅、即ち破線の幅は相対波長の波長差を表し、これが最大でも±0.01nm/400nm程度であることから、相対波長精度は $\pm \lambda/40000$ 以下であることが判る。このプロットは、使用している分光器の固有の絶対波長精度や相対波長精度を現している。従って、測定されたスペクトルの幅がこの破線の範囲内に収まっているれば、測定されたスペクトルの波長が確からしいといって差し支えない。

### 3.3. プラズマ温度、遷移確率、振動子強度の算出

これまで述べてきた感度と波長の較正並びにスペクトルの同定により、原子スペクトル 247 本、一価のイオンスペクトル 294 本について明らかにした。これを用いてプラズマ温度、遷移確率、振動子強度の算出を試みた。

LIBS では、レーザー照射後、ブレークダウンによりプラズマが発生し、そのプラズマは刻一刻と状態が変化する過渡現象を示す。しかし、ここでは観測遅延時間 5 μ s 以降の観測時間幅 10 μ s の間、観測している領域は局所熱平衡 (LTE: Local Thermodynamic Equilibrium) の状態であり粒子密度は Boltzmann 分布すると仮定し<sup>10)</sup>、プラズマ励起温度を求めた。局所熱平衡状態である時、エネルギーレベル U (Upper) から L (Lower) へのスペクトルの発光強度  $I_{UL}$  はプラズマ励起温度  $T$  と以下の関係で表される。



**Fig. 6 Correlation of the wavelength difference to database wavelength**

$$I_{UL} = \frac{hc g_U A_{UL}}{4\pi \lambda_{UL}} \frac{N}{Z} \exp\left(-\frac{E_U}{kT}\right) \quad (1)$$

ここで、 $h$  はプランク定数、 $c$  は真空の光速度、 $g_U$  は上準位の縮退数、 $A_{UL}$  は遷移確率、 $\lambda_{UL}$  は波長、 $N$  と  $Z$  は関与する原子あるいはイオンの数密度と分配関数、 $E_U$  は上準位のエネルギーレベル、 $k$  はボルツマン定数である。次にこの式の両辺の自然対数をとれば、

$$\ln\left(\frac{I_{UL} \lambda_{UL}}{g_U A_{UL}}\right) = -\frac{1}{kT} E_U + \ln\left(\frac{hc}{4\pi} \frac{N}{Z}\right) \quad (2)$$

となる。但し、この式において右辺の第 2 項は  $N$ 、 $Z$  を含むため、原子とイオンでは値が異なる。そこで、先に同定したスペクトルのうち上準位のエネルギーレベル等のデータが判明している原子スペクトル 243 本、一価のイオンスペクトル 279 本のデータを用いて原子とイオンのスペクトルについて別々に Boltzmann プロットを実施した。その結果を Fig. 7 に示す。図の横軸が上準位のエネルギー、縦軸は(3)式の左辺であり、■がウラン原子、○が一価のウランイオンの Boltzmann プロットである。図中の実線はリニアフィットした直線、破線は 95% 信頼限界、点線は 95% 推定限界である。いずれも、ある程度のばらつきはあるものの直線でよくフィッティングされている。このばらつきは、それぞれのスペクトルの強度のばらつきや、プラズマ温度の不安定性からくるものである。なお、この直線の Y 切片の違いは 先に述べた(3)式右辺第 2 項の数密度  $N$  と分配関数  $Z$  の違いを示している。これらの直線の傾きからプラズマ励起温度として、ウラン原子に対して 4300K( $\pm 134$ K)、一価のウランイオンに対して 4110K( $\pm 101$ K)の値が得られた。この値は、従来使用してきた分解能  $\lambda/8000$  の分光器で測定されたスペクトルから得たプラズマ温度 4700K より若干低い値に出ている<sup>9)</sup>。以下に、リニアフィットで得られた(3)式を記す。

$$UI \quad \ln(I\lambda/gA) = 7.05526 - 2.70071E_U \quad (3-1)$$

$$UII \quad \ln(I\lambda/gA) = 9.54355 - 2.82300E_U \quad (3-2)$$

この Boltzmann プロットをリニアフィットして得られた式(3-1)及び式(3-2)は、測定されたスペクトルの発光強度  $I_{UL}$  と遷移確率  $A_{UL}$  との関係を表している。従って、発光強度  $I_{UL}$  とエネルギー準位  $E_U$  が判れば、このリニアフィット直線から遷移確率  $A_{UL}$ 、を求めることができる。これは得られたプラズマ温度が確からしく、これによって測定された全てのスペクトル強度のばらつきが平均化されるとして得られる遷移確率と考えることができる。一方、遷移確率  $A_{UL}$  は振動子強度  $f_{LU}$  と次の関係が有る。

$$A_{UL} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{8\pi^2 e^2 (c/\lambda_{UL})^2}{mc^3} \frac{g_L}{g_U} f_{LU} \quad (4)$$

ここで、 $\epsilon_0$  は真空の誘電率、 $e$  は電気素量、 $m$  は電子質量である。従って、測定された発光強度  $I_{UL}$  とリニアフィット直線(3-1)式及び(3-2)式と(4)式を用いることにより、解析に用いた全てのスペクトル強度を考慮して得られる振動子強度を計算することができる。これらの方法を用いて遷移確率と振動子強度を求めた。更に、測定スペクトルより求めた振動子強度 ( $\log(gf)$ ) と既知の値<sup>20)</sup>との相関を Fig. 8 に示す。Fig. 7 と同様、■がウラン原子、○が一価のウラ

ンイオンの振動子強度であり、それぞれの直線も先と同様、実線はリニアフィットした直線、破線は 95% 信頼限界、点線は 90% 推定限界である。この振動子強度のばらつきは、測定されたスペクトル強度のばらつきによるものとして考えてよい。横軸が CfA のデータベースの記されている既知の振動子強度の対数値で、縦軸が Boltzmann プロットより得られた振動子強度の対数値である。リニアフィットした直線は傾きが 0.87 度であることから、求めた振動子強度の対数値は既知のそれに比較し、大きいものは小さく、小さいものは大きく得られている傾向が見られる。一般的に振動子強度の大きいスペクトルは自己吸収の影響を大きく受け、スペクトル強度が実際の値より小さく現れやすい。また、振動子強度が小さければスペクトル強度も小さくなり、そのため近傍のスペクトルのすその干渉により測定されるスペクトル強度が大きく現れやすい。これらのことから、先のこの傾向は自己吸収と近傍スペクトルの干渉による影響があると推察される。このことを考え合わせても、得られた振動子強度は既知の振動子強度とよい相関がある。この様にして計算された振動子強度が破線の 95% 信頼限界内にあれば、測定されたスペクトル強度も信頼でき、測定スペクトル自身も確からしいといって差し支えない。

以上のように較正した測定スペクトルとそのデータの最終結果を付録に示す。

#### 4. 結言

核燃料物質中に含まれる不純物の分析にレーザー誘起ブレークダウン発光分光分析法を適用するため、複雑で密度が高い発光スペクトルを示す天然ウランのブレークダウンスペクトルを測定し、350~470nm のスペクトルの全容を明らかにした。ウランのスペクトルに混在して現れる不純物のスペクトルを区別し、かつその存在量を分析するためには、スペクトル基準となる信頼性の高いウランの分光データが不可欠である。そこで、スペクトルの相対感度及び波長の較正を

を行うことにより、測定スペクトルの中からレーザー誘起ブレークダウン分光分析に使用可能と思われる単独スペクトルとして、原子スペクトル 247 本、一価のイオンスペクトル 294 本を抽出し、ブレークダウン分光データとしてまとめた。なお、この測定波長域において CfA のデータベースに記載されているスペクトルの全てを観測することが可能であった。さらに、既存の分光データを基に、これらのスペクトルの同定を行い、エネルギー準位、振動子強度を明らかにすると併に、評価値が既存値と矛盾なく一致することを示し、本データの信頼性を確認した。

一方、CfA データベースに記載されているスペクトルは全て同定できたが、同定できない未知のスペクトルが多数残った。これらの未知のスペクトルの中には、これらの測定スペクトルの波長  $\lambda$  と選択側に基づいたエネルギーレベルの上準位  $E_u$  と下準位  $E_l$  の差が Fig. 6 に破線で示した幅の範囲内で一致し、更に式(3-1)及び式(3-2)を用いて得られる振動子強度  $\log(g_f)$  が Fig. 7 の破線で示した 95% 信頼限界内で一致すれば、この測定された未知のスペクトルを新たなウランのスペクトルとして同定できる。その場合の振動子強度の確からしさは、Fig. 8 の 95% 信頼限界程度であると考えられる。

#### 謝 辞

本報告は、特別会計に関する法律（エネルギー対策特別会計）に基づく文部科学省からの受託事業として、日本原子力研究開発機構が実施した平成 25 年度「次世代燃料の遠隔分析技術開発と MOX 燃料による実証的研究」の成果を含みます。

#### 参考文献

- 1) E. Tognoni, V. Palleschi, M. Corsi, and G. Cristoforetti, "Quantitative micro-analysis by laser-induced breakdown spectroscopy: a review of the experimental approaches", *Spectrochim. Acta*, B57 (2002) pp.1115-1130.
- 2) "「レーザー誘起ブレークダウン分光法の産業応用に向けて」特集号", レーザー研究, Vol.42 No.12(2014) pp.877-922.
- 3) F. J. Fortes, J. Moros, P. Lucena, L. M. Cabalín, and J. J. Laserna, "Laser-Induced Breakdown Spectroscopy", *Anal. Chem.*, 85(2013) pp.640-669.
- 4) P. Fichet, P. Mauchien and C. Moulin, "Determination of Impurities in Uranium and Plutonium Dioxides by Laser-Induced Breakdown Spectroscopy", *Appl. Spectrosc.* 53 (1999) pp.1111-1117.
- 5) J. E. Barefield II, D. K. Veira, C. A. Smith, and P. G. Eller, "Potential Safeguards Applications of LIBS in UREX1 Reprocessing", LA-UR-06-4319 (2006).
- 6) "高速増殖炉サイクルの研究開発方針について(文部科学省科学技術・学術審議会研究計画・評価分科会 原子力分野の研究開発に関する委員会 2006 年 10 月 31 日)", [http://www.mext.go.jp/b\\_menu/shingi/gijyutu/gijyutu2/toushin/06112004.htm](http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/gijyutu/gijyutu2/toushin/06112004.htm) (accessed 2015/06/01).

- 7) 赤岡 克昭、丸山 康一郎、大場 正規、宮部 昌文、若井田 育夫、“ガドリニウムに添加した銅のレーザーブレークダウン発光分光分析(受託研究)”、JAEA-Research 2008-081, (2008), 16p.
- 8) 赤岡 克昭、丸山 康一郎、大場 正規、宮部 昌文、音部 治幹、若井田 育夫：“LIBSによるウラン酸化物中の不純物測定法の開発”、東北大学金属材料研究所ワークショップ「素材産業に関する新しい分析・解析技術」講演論文集 (2008) p.55.
- 9) 赤岡 克昭、丸山 康一郎、大場 正規、宮部 昌文、音部 治幹、若井田 育夫、“レーザーブレークダウン発光分光法によるウランスペクトルの測定(受託研究)”、JAEA-Research 2009-029, (2009), 49p.
- 10) 赤岡 克昭、丸山 康一郎、大場 正規、宮部 昌文、音部 治幹、若井田 育夫、“カルシウムを添加したウランのレーザーブレークダウン発光分光-時間分解分光- (受託研究) ”、JAEA-Research 2010-004, (2010), 13p.
- 11) 赤岡 克昭、丸山 康一郎、大場 正規、宮部 昌文、音部 治幹、若井田 育夫、“カルシウムを添加したウランのレーザーブレークダウン発光分光-レーザー光強度依存性- (受託研究) ”、JAEA-Research 2010-036, (2010), 14p.
- 12) 若井田 育夫、赤岡 克昭、大場 正規、丸山 康一郎、宮部 昌文、音部 治幹、仁木 秀明、“レーザー誘起プラズマ発光分光法とアブレーション共鳴吸収分光法を組合せた次世代燃料の遠隔分析技術に関する基礎研究”、核物質管理学会(INMM)日本支部第30回年次大会論文集(CD-ROM)(2010) p.9.
- 13) 赤岡 克昭、丸山 康一郎、大場 正規、宮部 昌文、音部 治幹、若井田 育夫、“LIBSによる核燃料物質の高分解能分光、核燃料物質の遠隔分析技術開発,2”、東北大学金属材料研究所 2011 年ワークショップ「素材製造プロセス及び新素材開発の迅速化・高度化に資する分析・解析技術」(2011) p.107.
- 14) 赤岡 克昭、丸山 康一郎、宮部 昌文、音部 治幹、高野 公秀、若井田 育夫、“ウラン、ジルコニウム,鉄のブレークダウン発光分光とそのスペクトルの評価”、東北大学金属材料研究所 2012 年ワークショップ「素材製造プロセス及び新素材開発の迅速化・高度化に資する分析・解析技術」講演論文集(2012) p.137.
- 15) K. Akaoka, Y. Maruyama, M. Oba, M. Miyabe, H. Otobe, I. Wakaida, Ikuo, “Determination of calibration curve for the neodymium contained as impurities in uranium by laser induced breakdown spectroscopy, Laser remote analysis for next generation nuclear fuel”, International Conference on Laser Applications in Nuclear Engineering (LANE '13) Abstract book(2013) p.51.
- 16) 赤岡 克昭、加藤 政明、宮部 昌文、丸山 康一郎、音部 治幹、清水 修、若井田 育夫、“レーザー誘起ブレークダウン発光分光によるプルトニウムのスペクトル測定”、先端計測技術の応用展開に関するシンポジウム、鉄鋼,化学工学,エネルギー関連技術への適用技術 講演論文集(2013) p.29.
- 17) 赤岡 克昭、宮部 昌文、音部 治幹、若井田 育夫、“レーザー分光分析技術の原子力分野への応用、レーザーブレークダウン発光分光におけるスペクトル幅”、第2回先端計測技術の

応用展開に関するシンポジウム 講演論文集(2014) p.21.

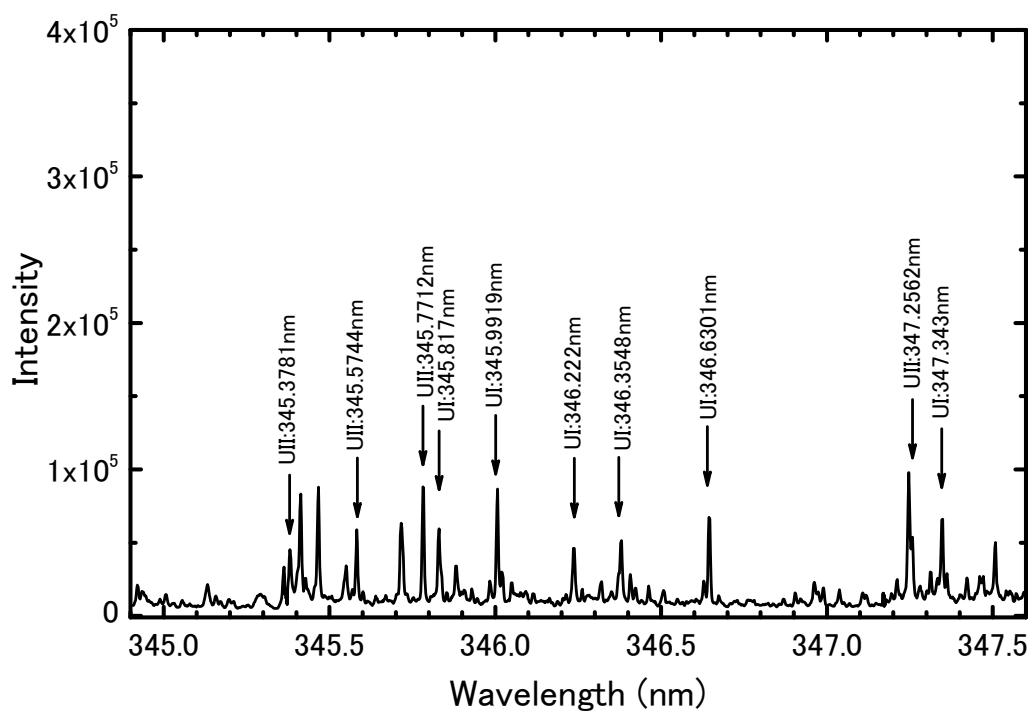
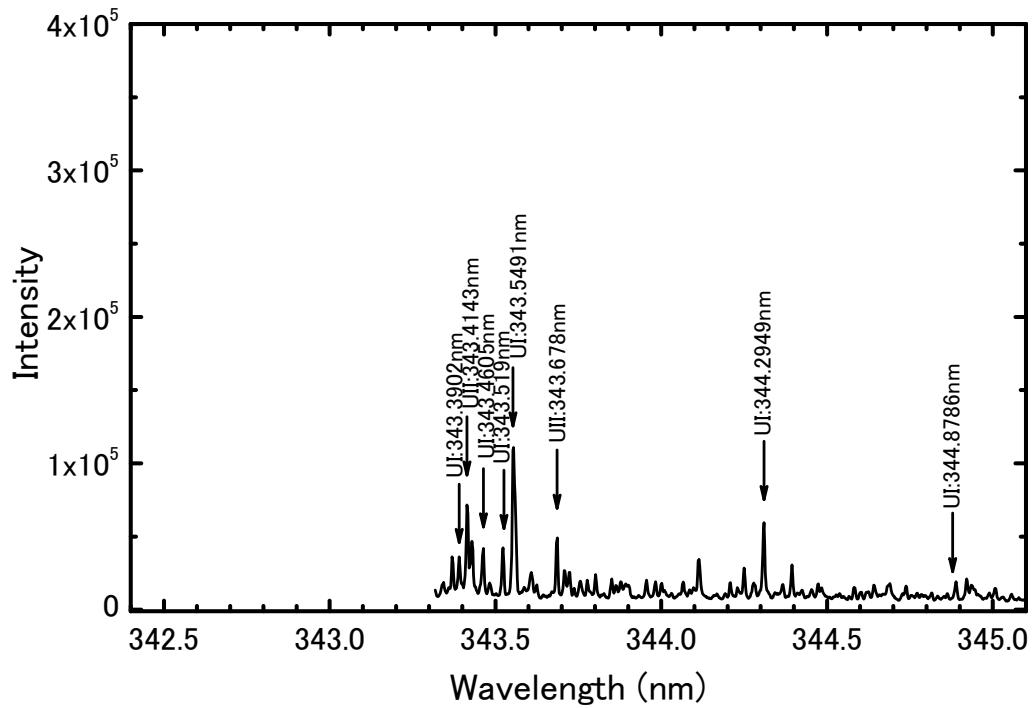
- 18) 赤岡 克昭、宮部 昌文、音部 治幹、若井田 育夫、“レーザー誘起ブレークダウン分光の核燃料物質分析への適用”、レーザー研究、Vol.42 No.12(2014) pp. 918-922.
- 19) 若井田 育夫、赤岡 克昭、宮部 昌文、大場 正規、音部 治幹、加藤 政明、伊藤 主税、西村 昭彦、大場 弘則、佐伯 盛久、“レーザー分光分析技術の原子力分野への応用、LIBS、共鳴分光の概要とその展開”、第2回先端計測技術の応用展開に関するシンポジウム 講演論文集(2014) p.7.
- 20) Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics: (online) “CFA Scientific Divisions: AMP: Databases”<http://cfa-www.harvard.edu/amp/ampdata/kurucz23/sekur.html> (accessed 2015/06/01).

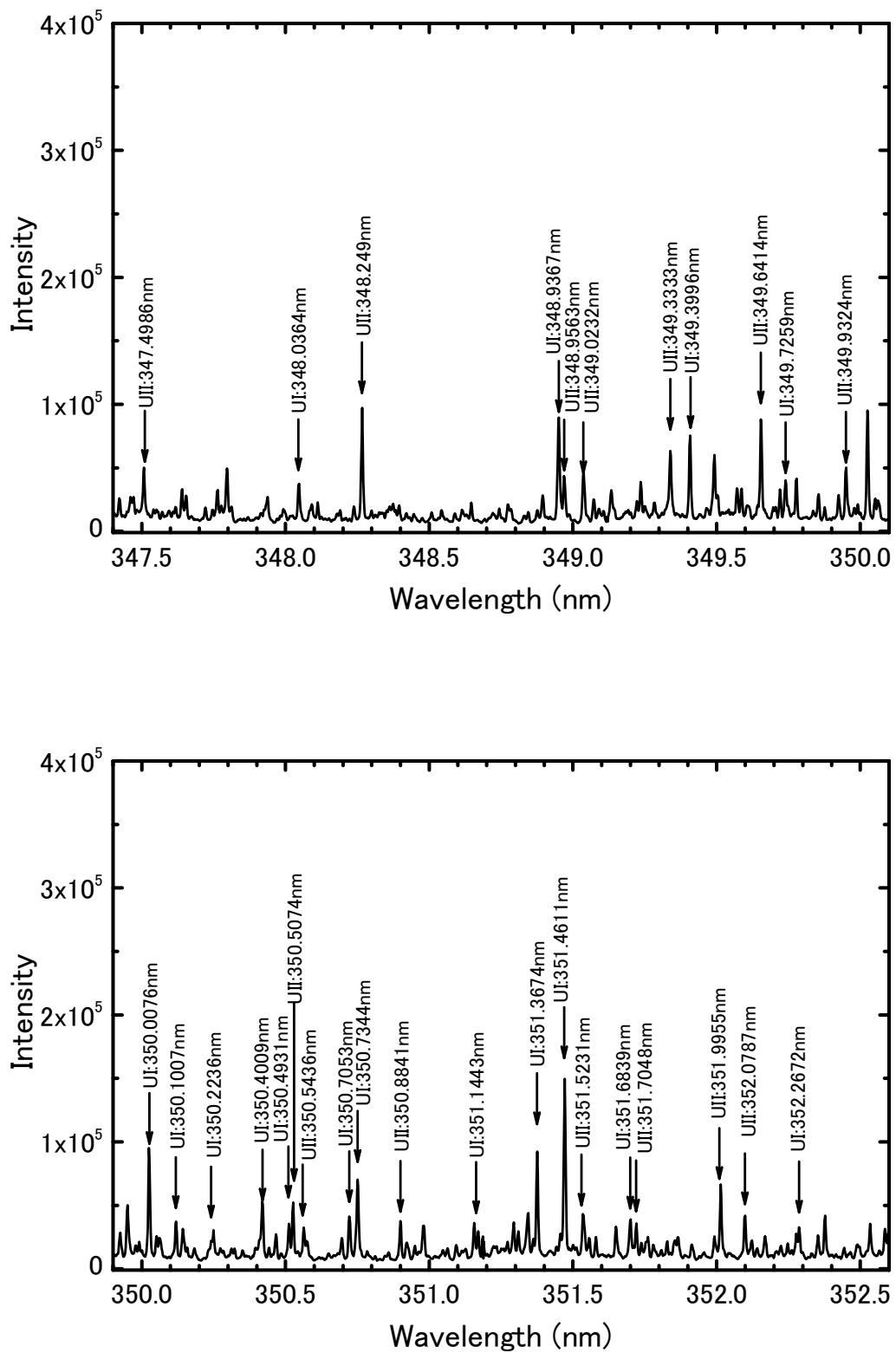
## 付録

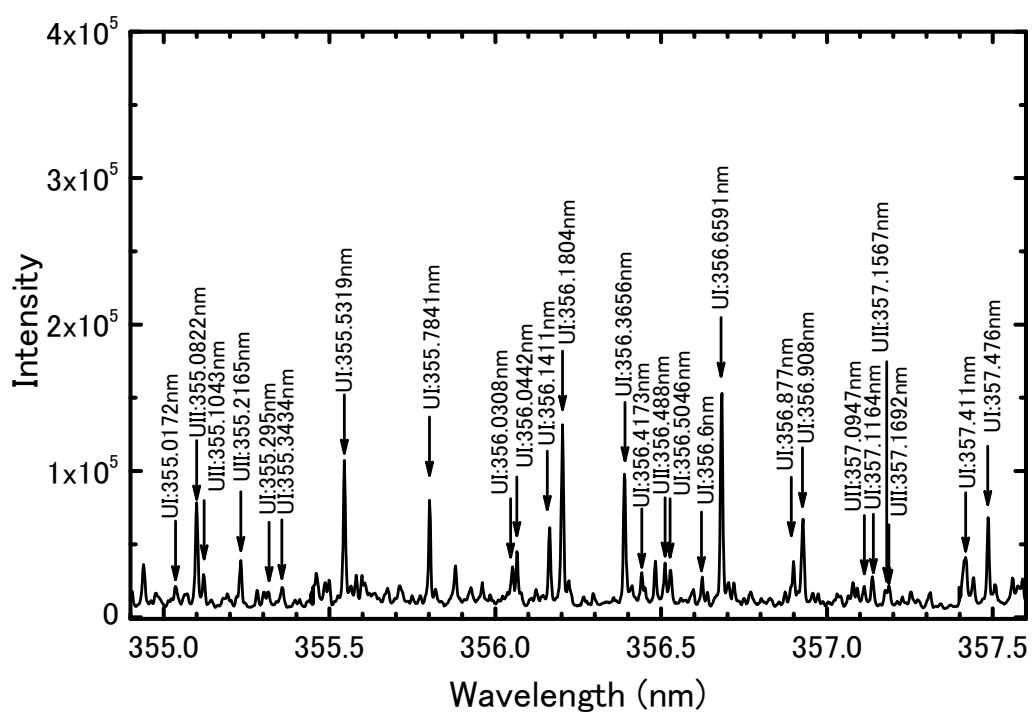
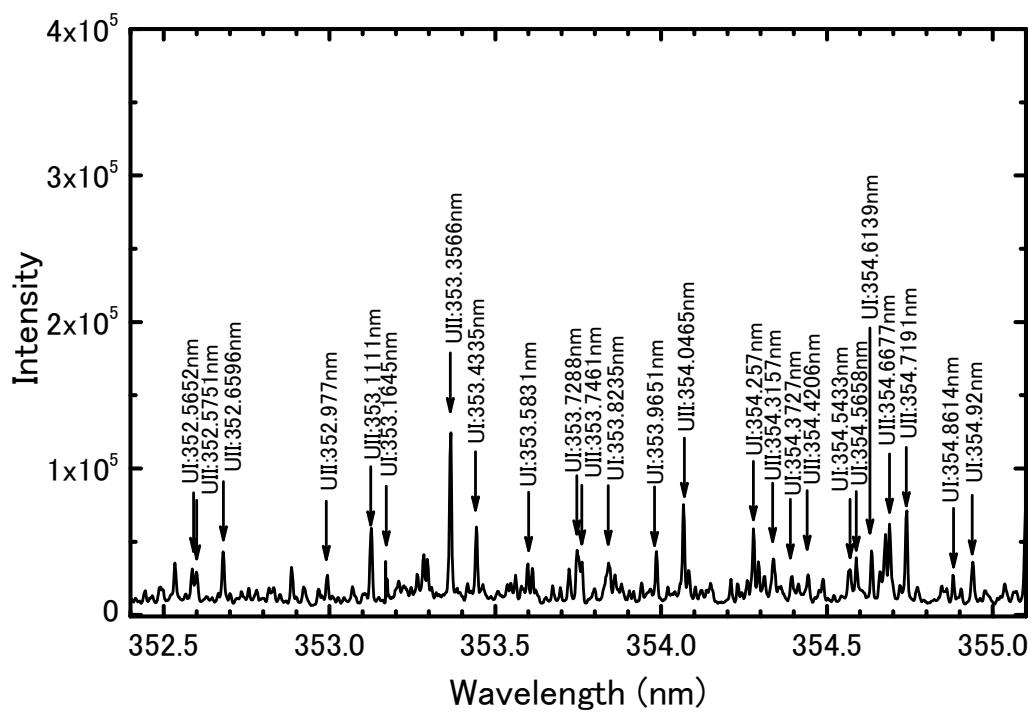
不純物スペクトルとウランスペクトルの分離区別に必要である測定したウランの全スペクトルを Appendix 1 に、分析に使用可能と思われる単独でエネルギーレベルが既知のスペクトルのうち同定できたスペクトルデータとして、原子スペクトル 247 本、一価のイオンスペクトル 294 本を Appendix 2 に示した。なお、Appendix 1 の横軸は(1)式で波長較正した波長で示してあり、縦軸は感度較正したスペクトル強度であり、測定された ICCD カメラのカウント数をそのまま記載した。また、Appendix 2 には観測波長と感度較正したスペクトル強度の他、算出した遷移確率と振動子強度を記載し、同定に用いたデータベースと共に記載した。なお、Int は 378.3159nm UII のスペクトル強度を 100 として規格化し、測定されたスペクトルの相対強度を示した。また、Ion は原子 (I) とイオン (II) の種別を表し、Conf は configuration (電子配置) を表している。

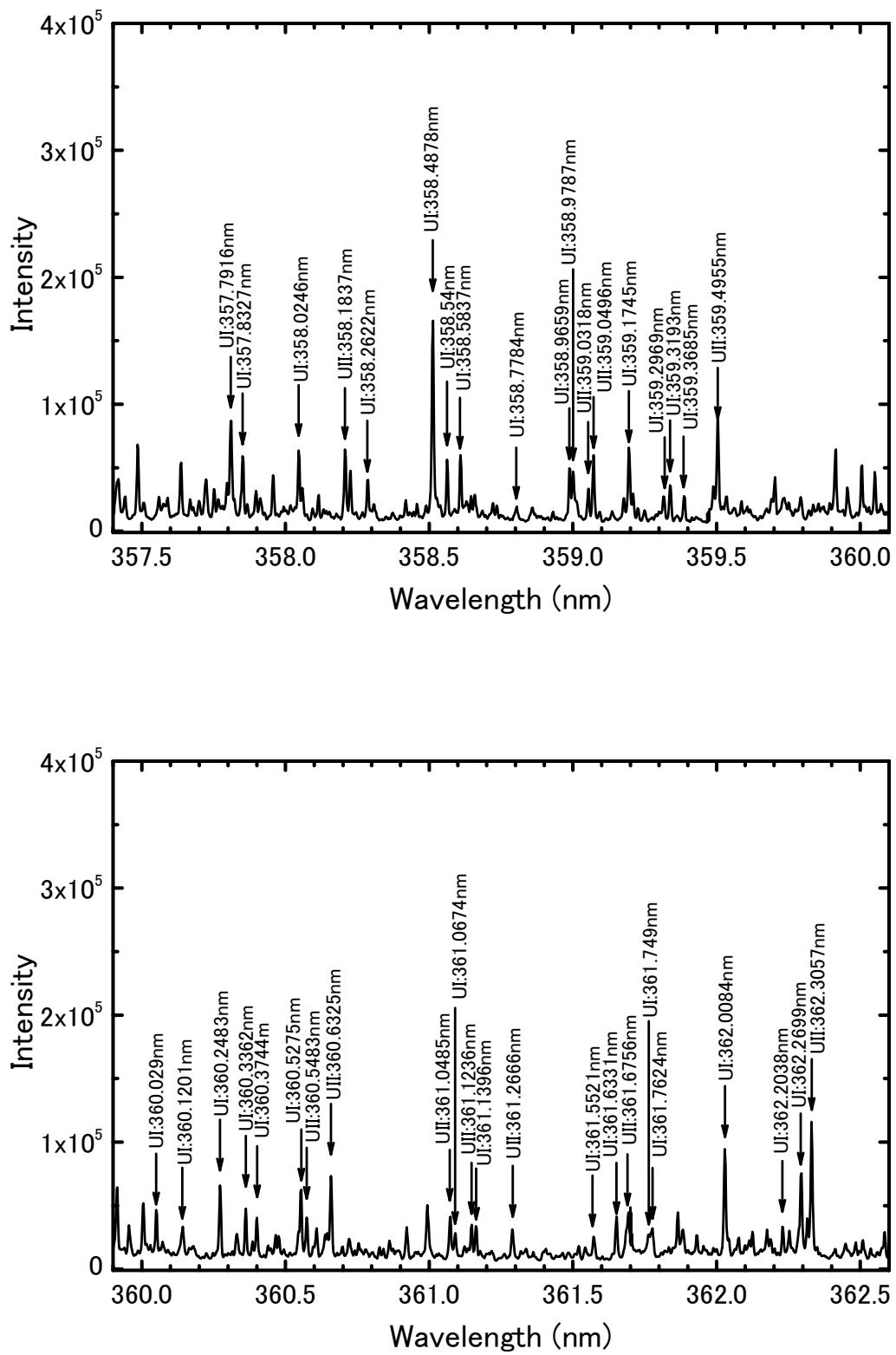
This is a blank page.

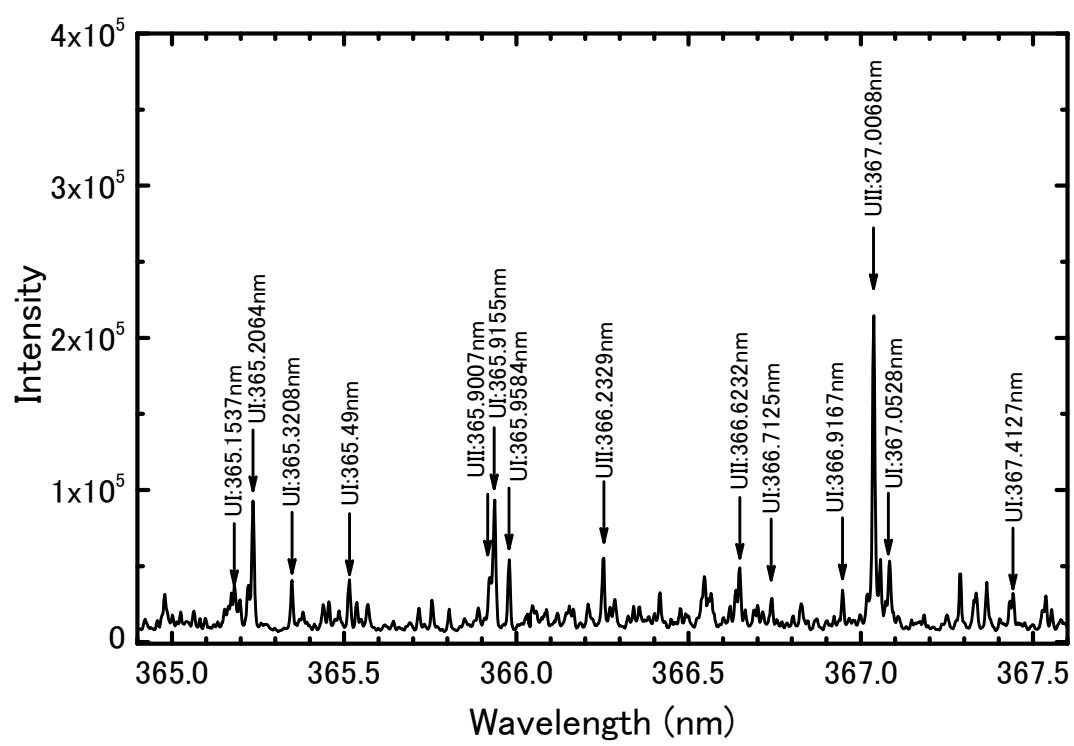
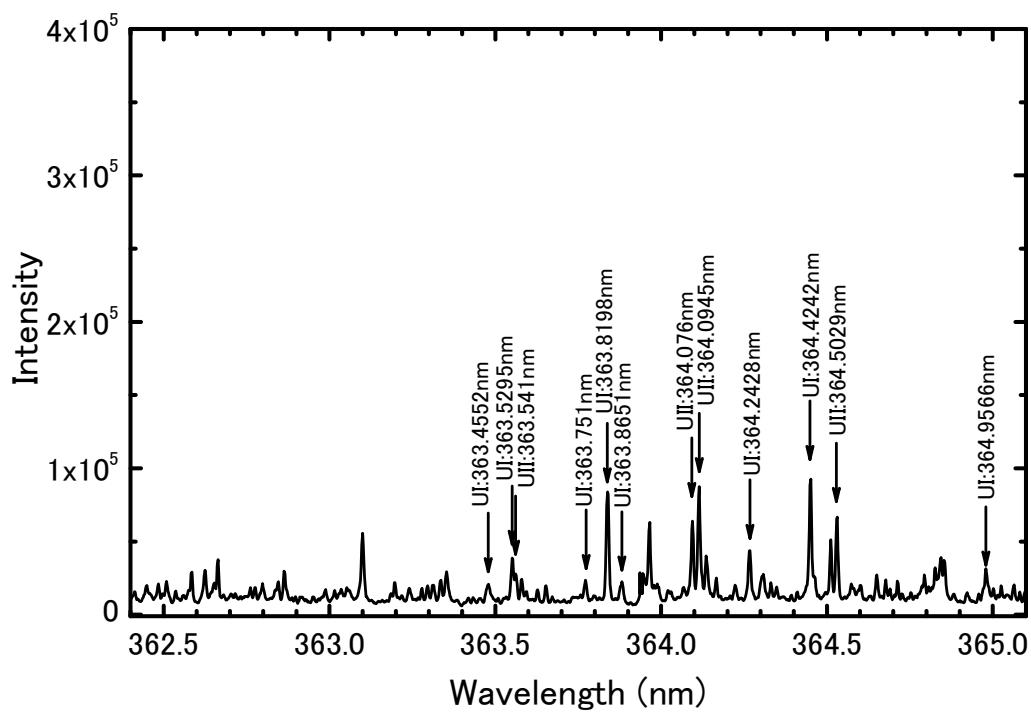
## Appendix 1 Measurement spectra of uranium

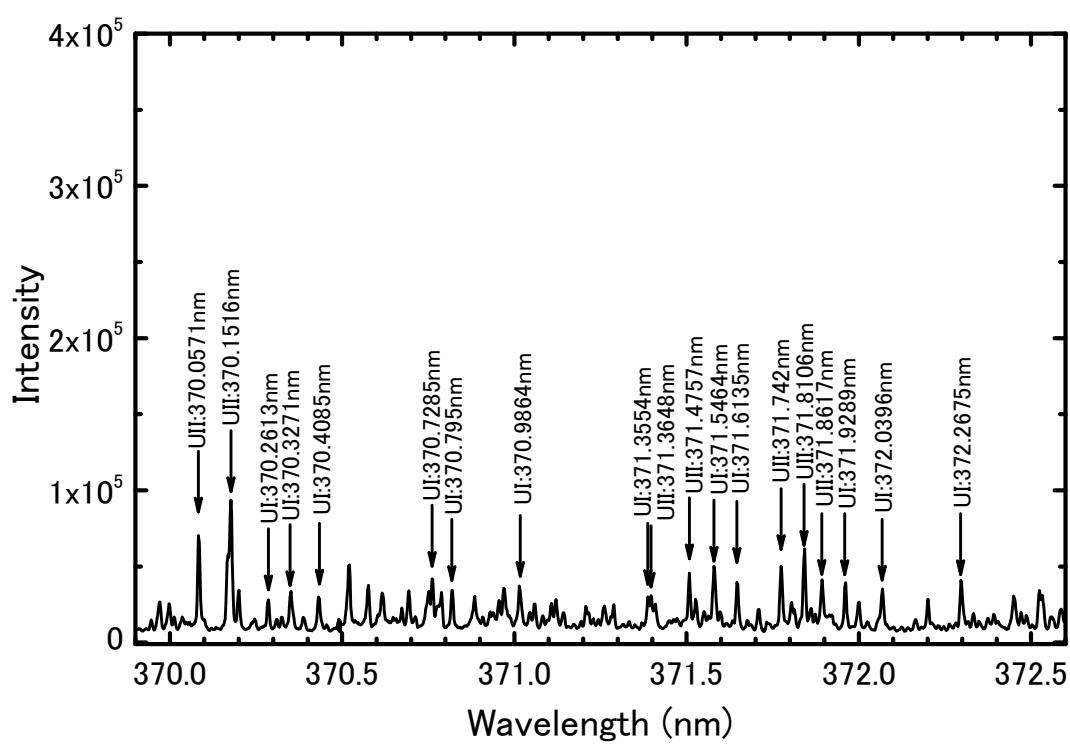
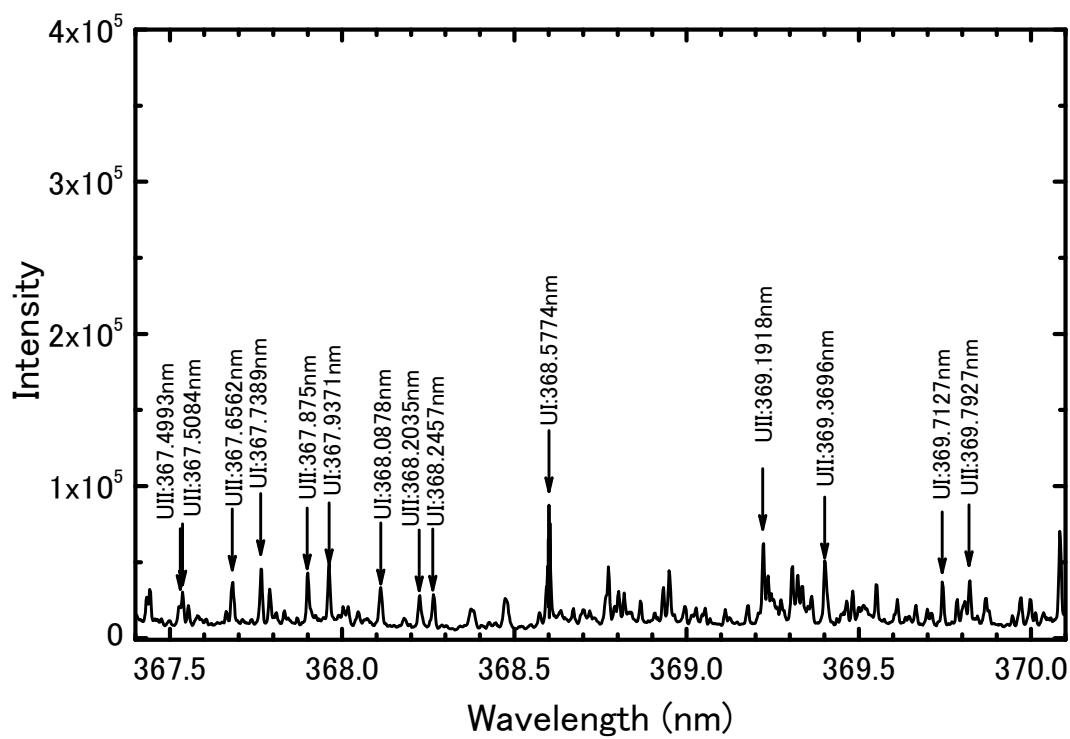


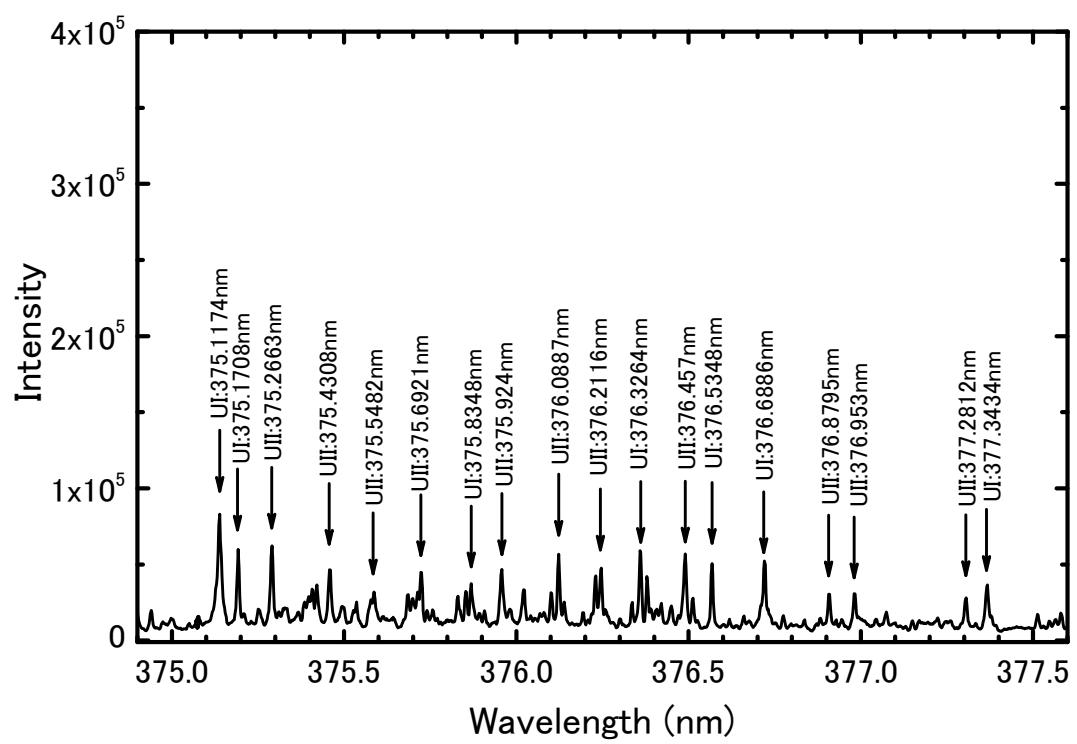
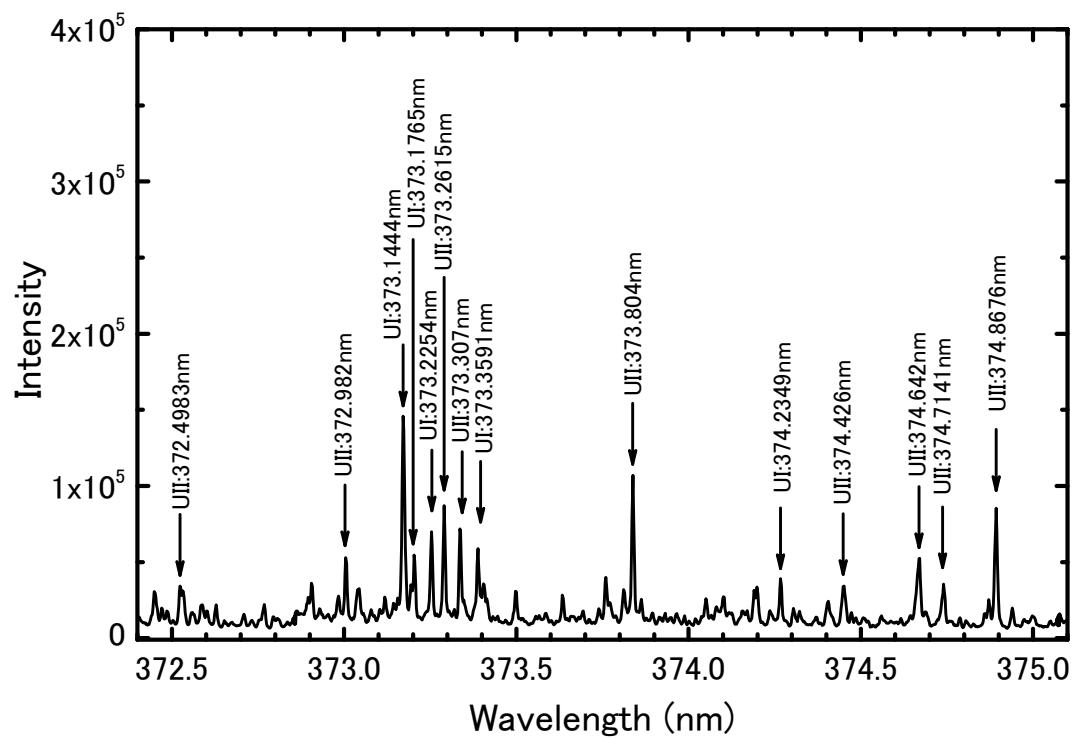


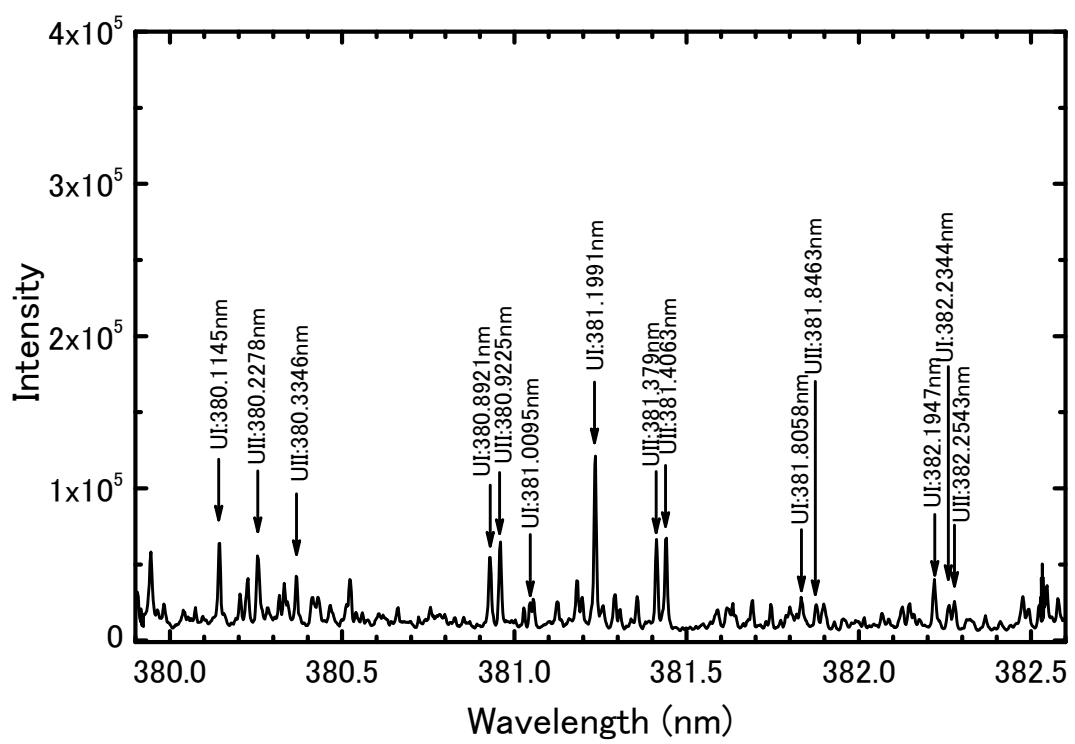
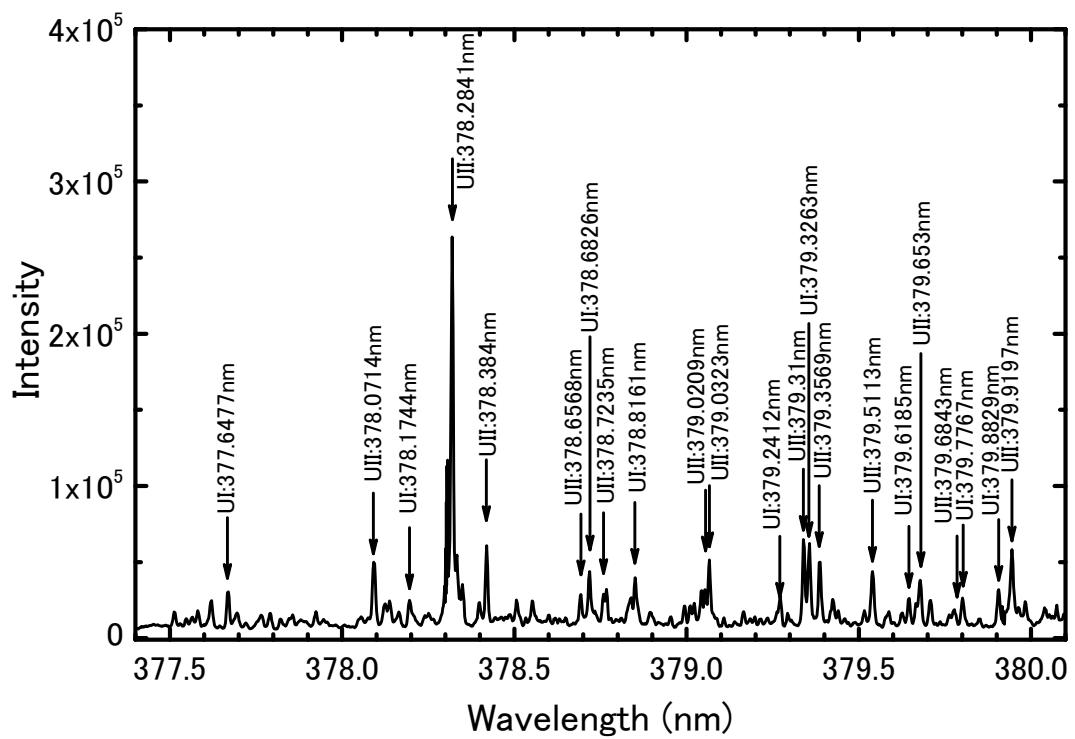


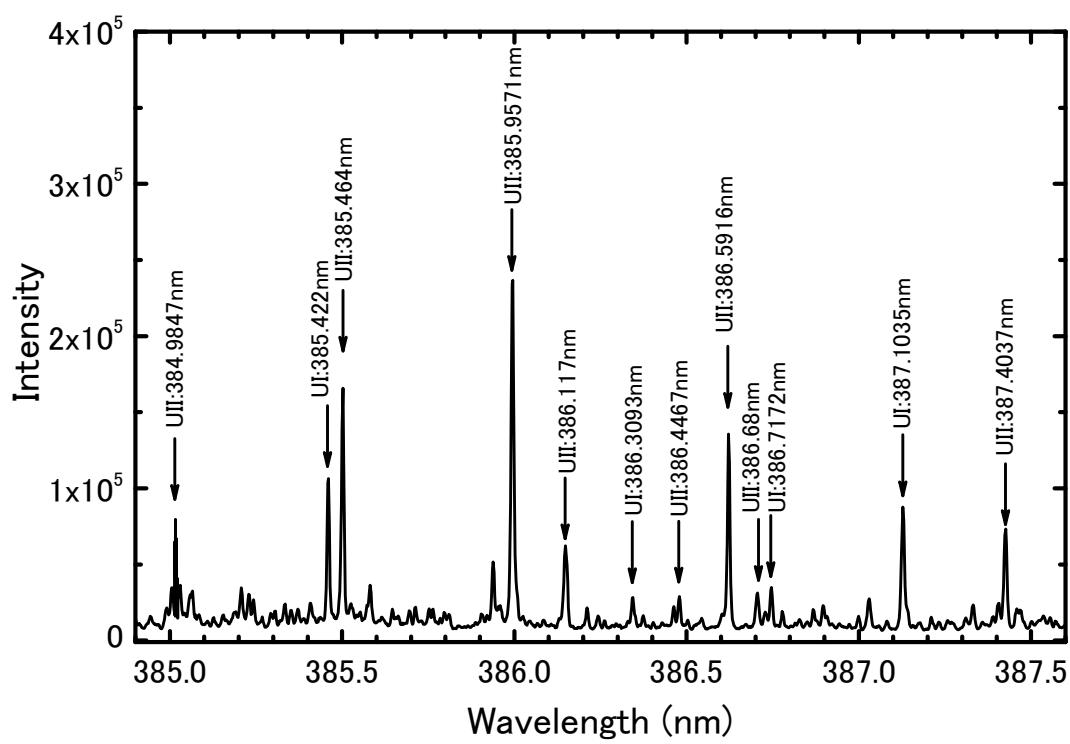
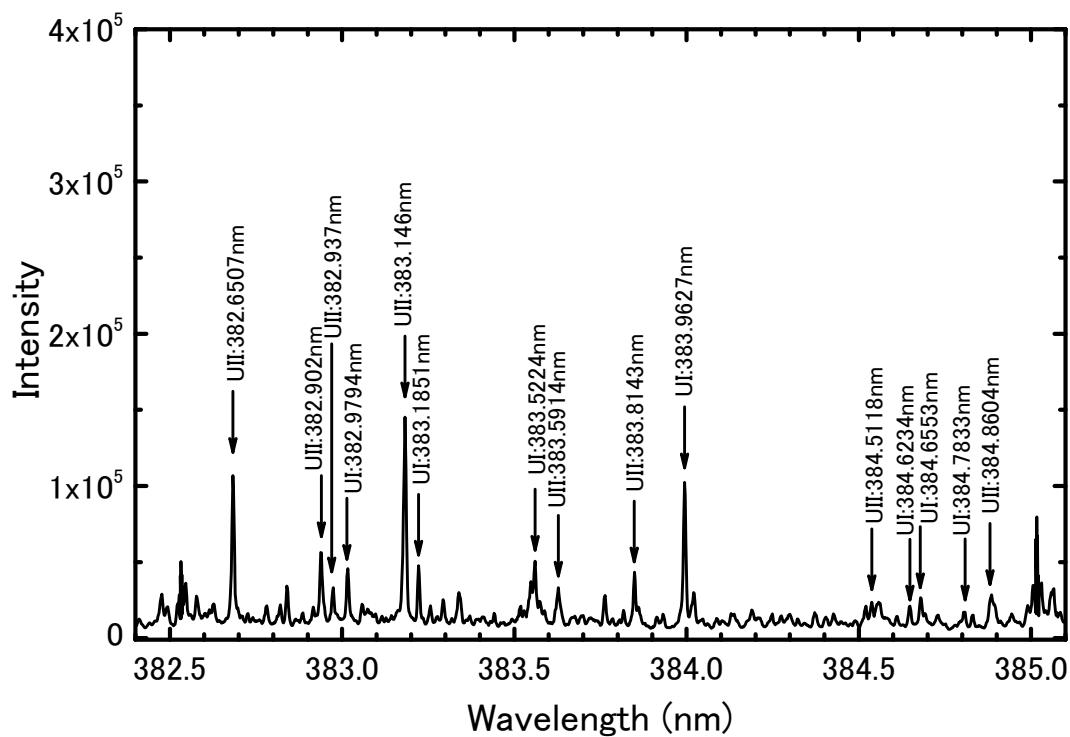


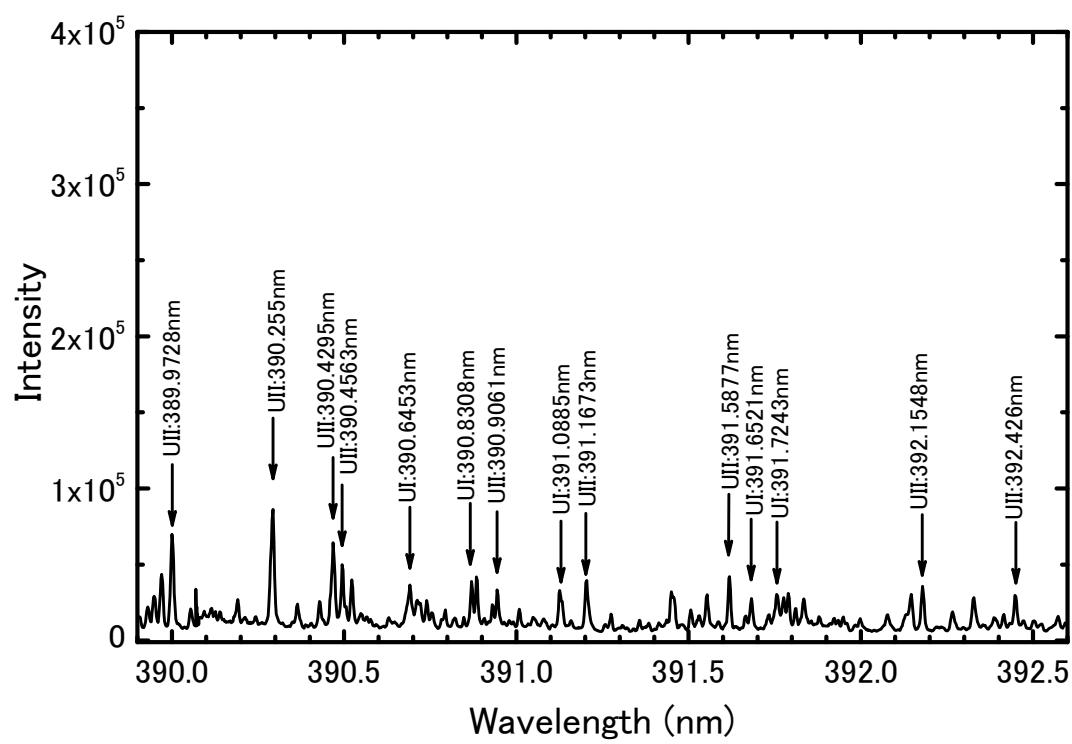
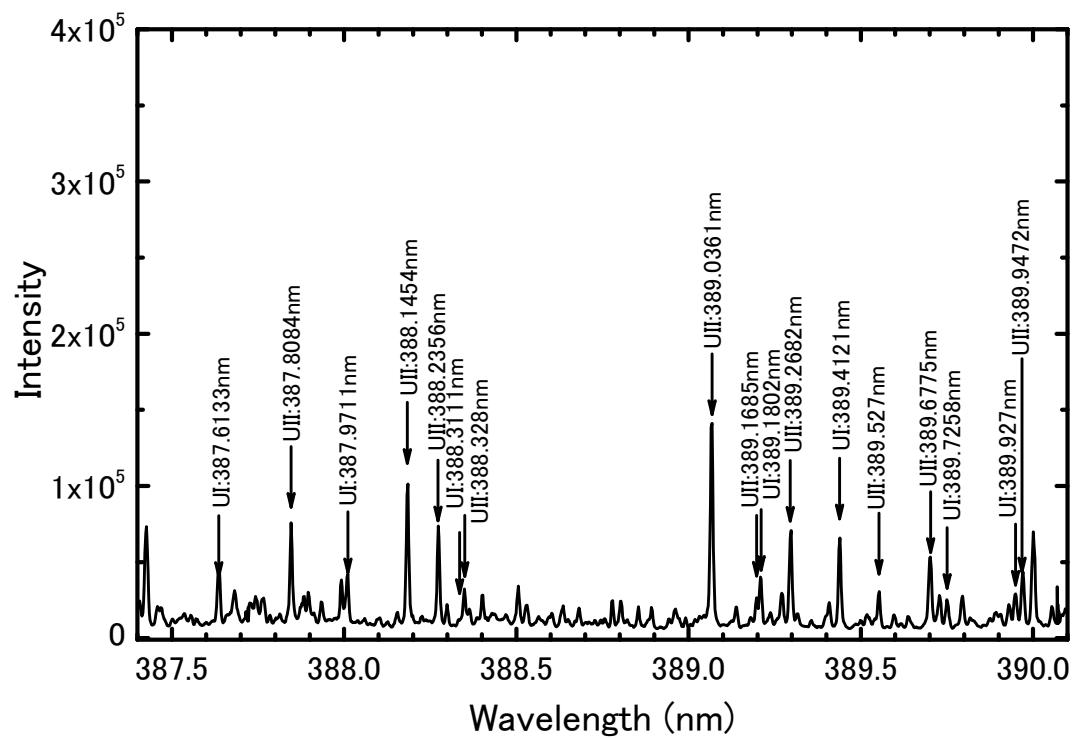


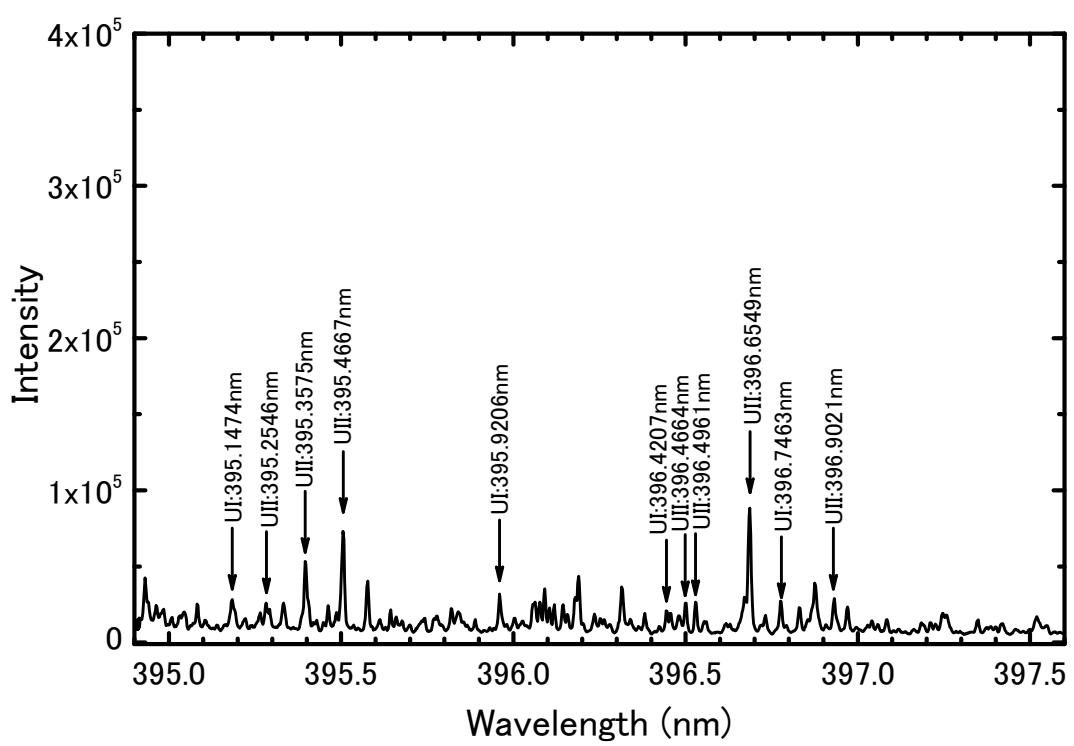
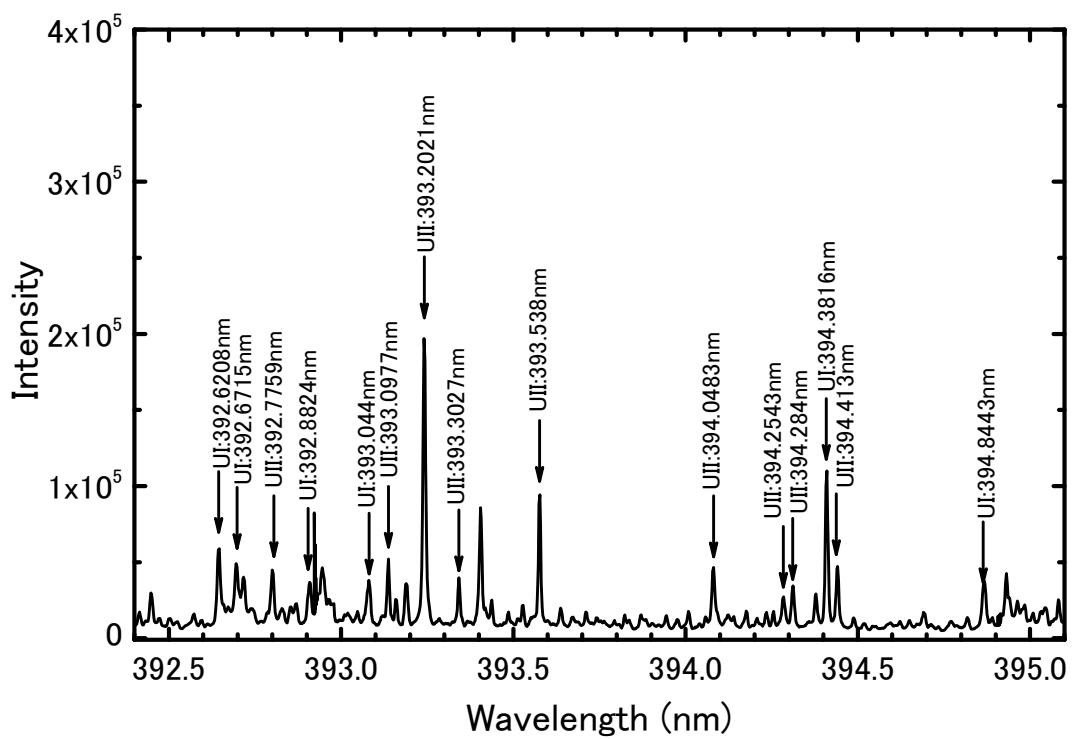


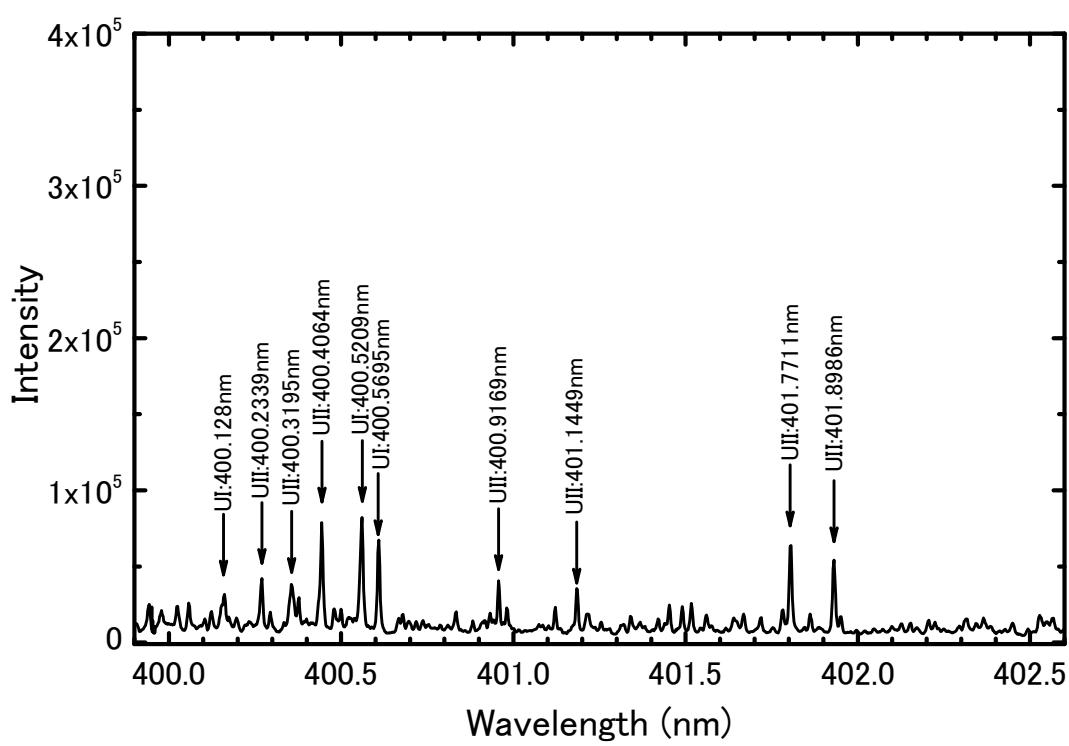
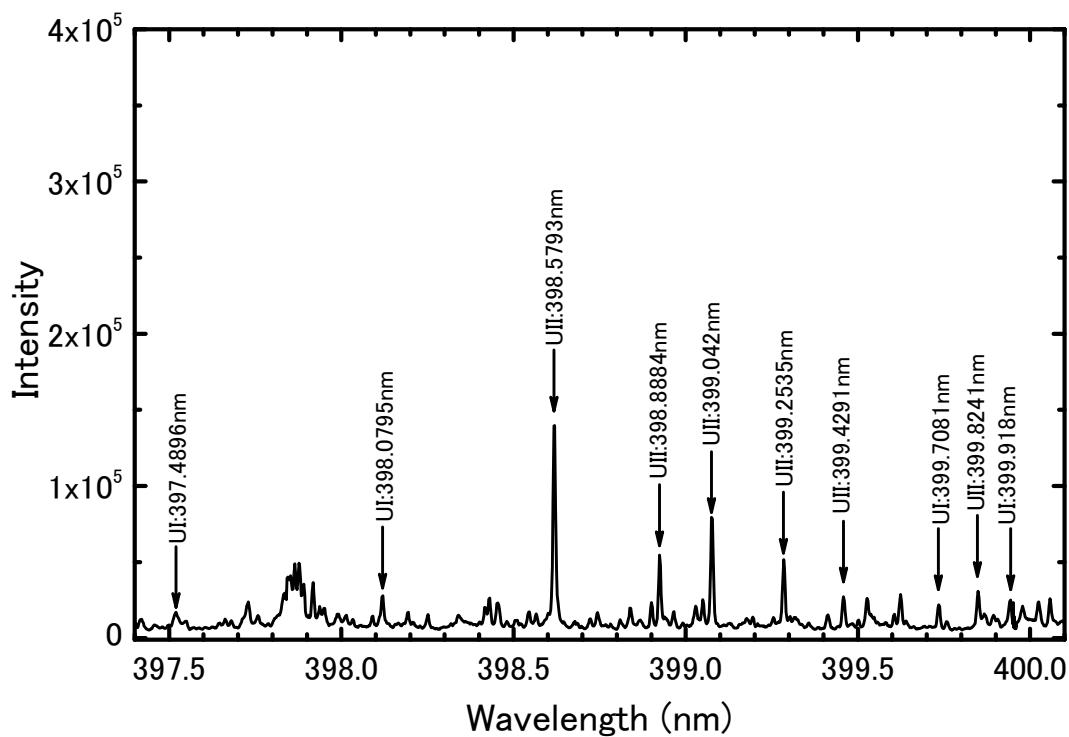


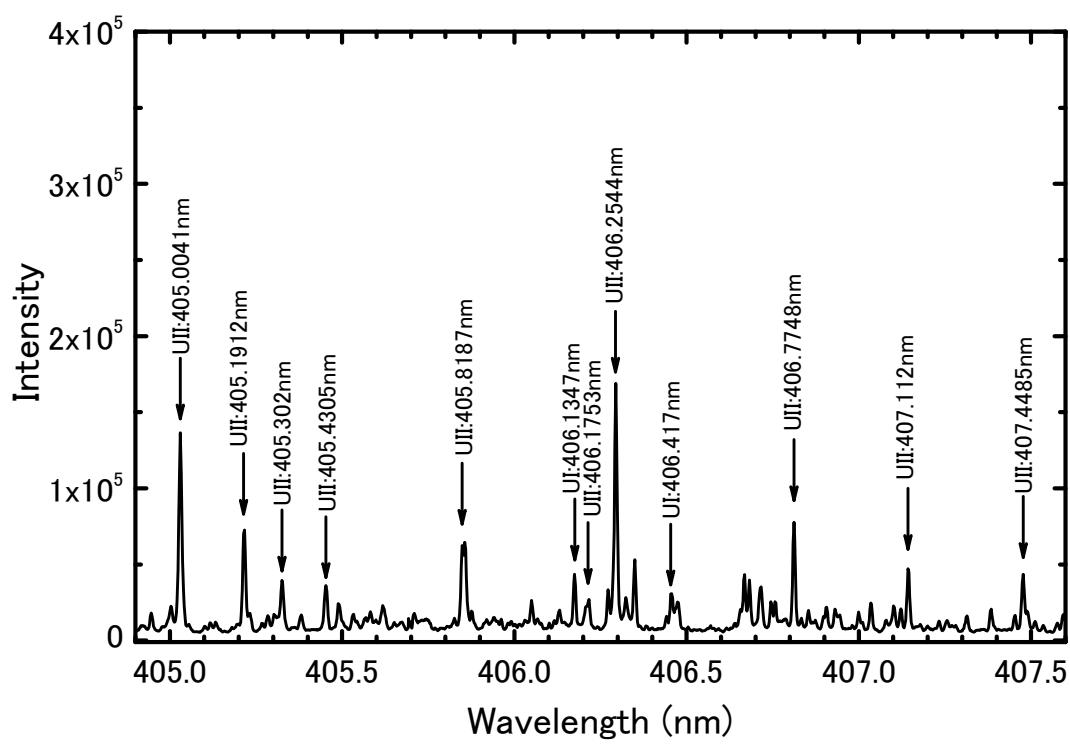
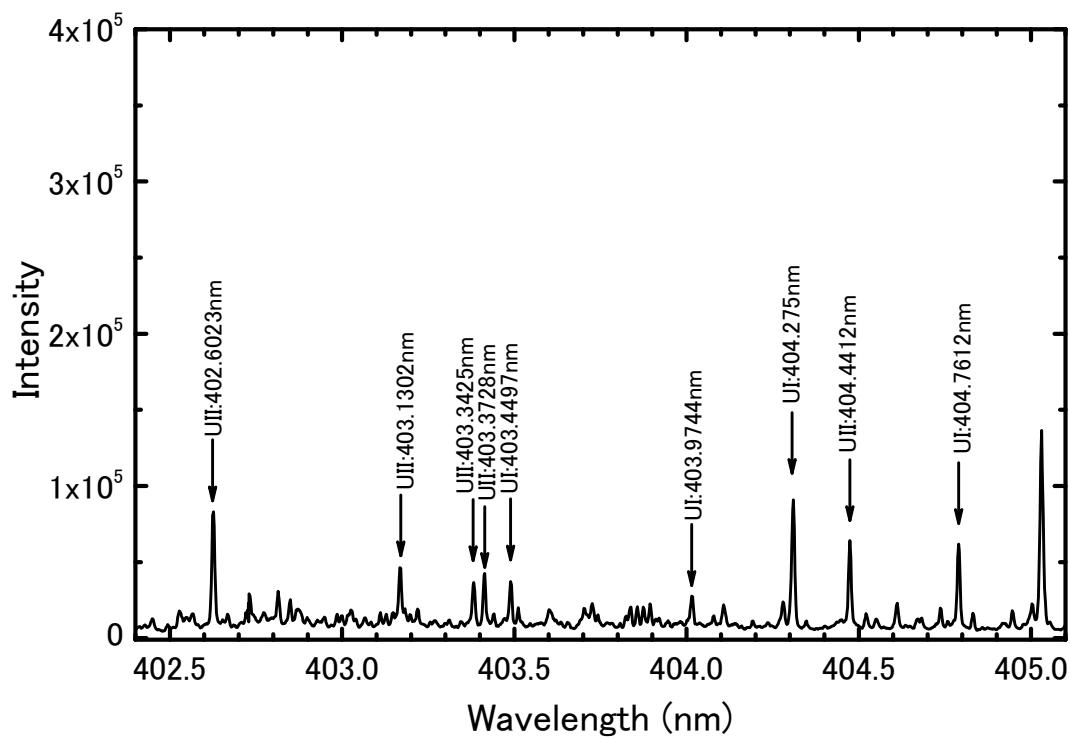


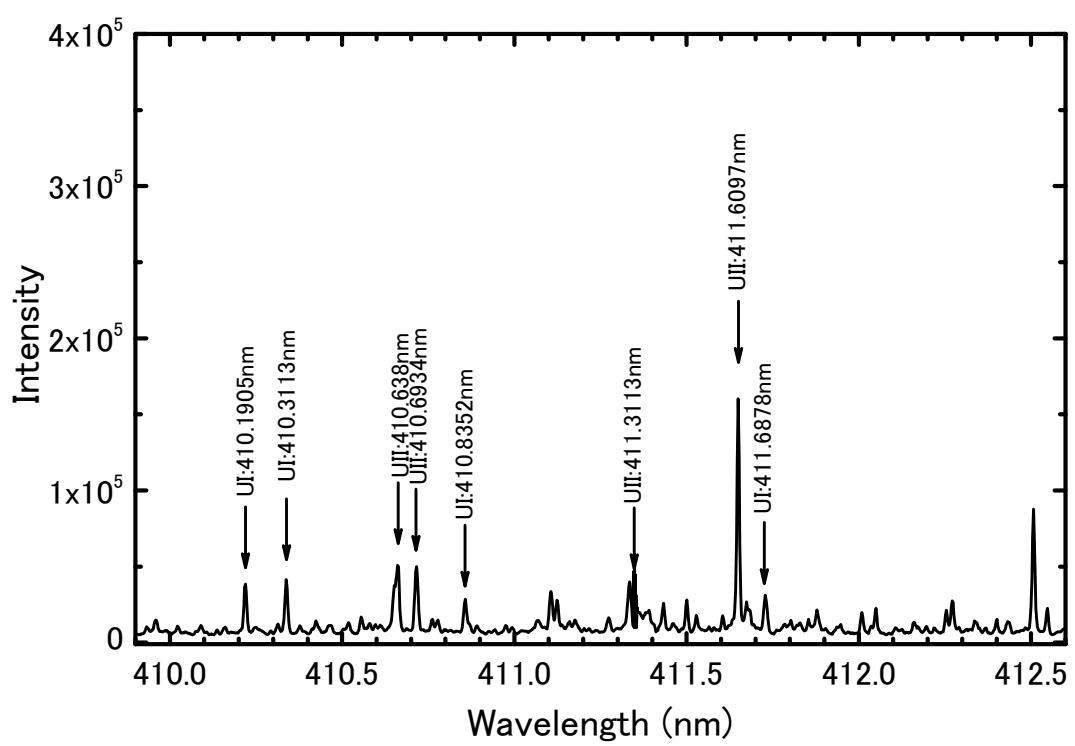
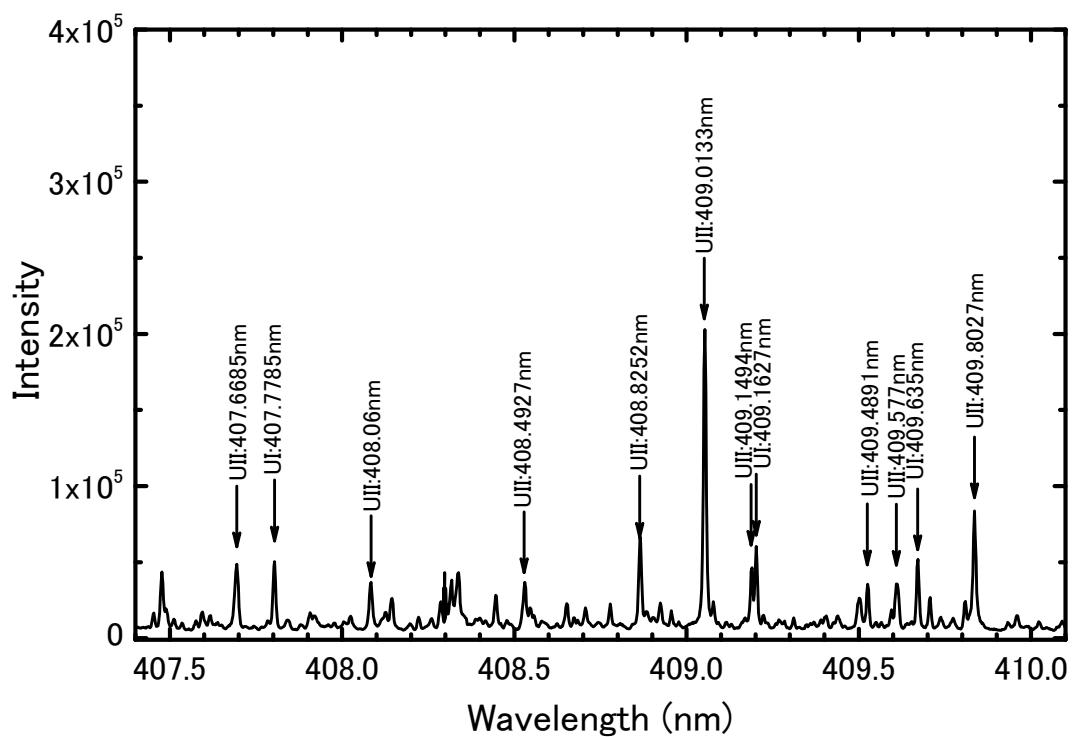


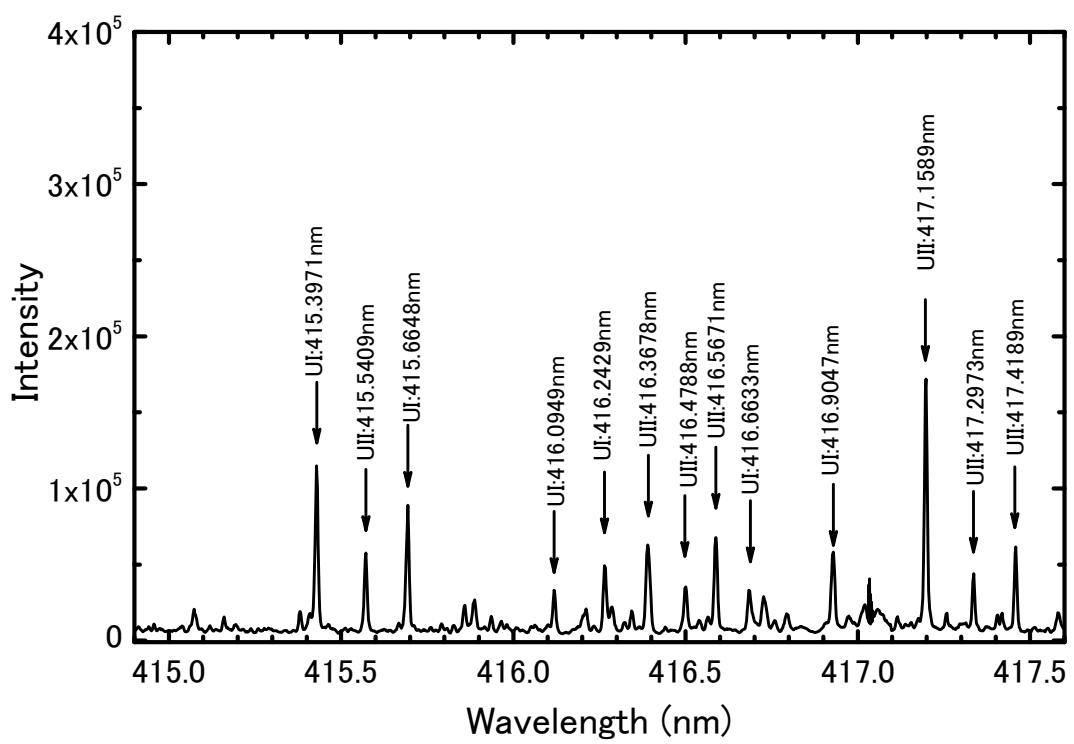
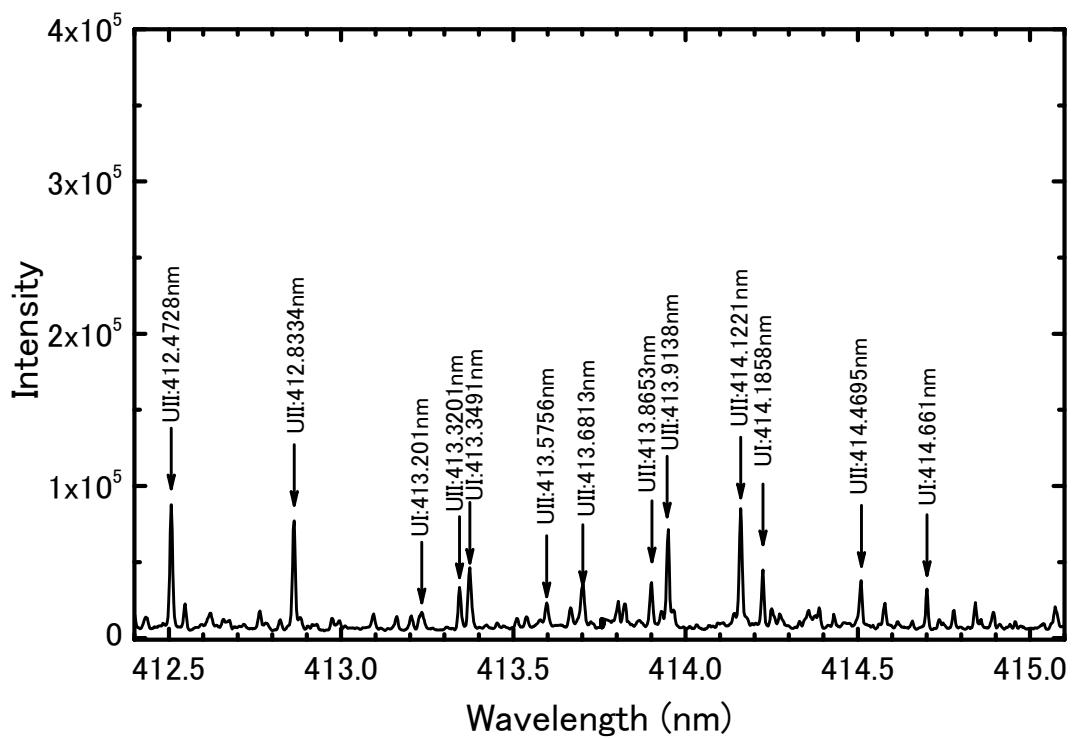


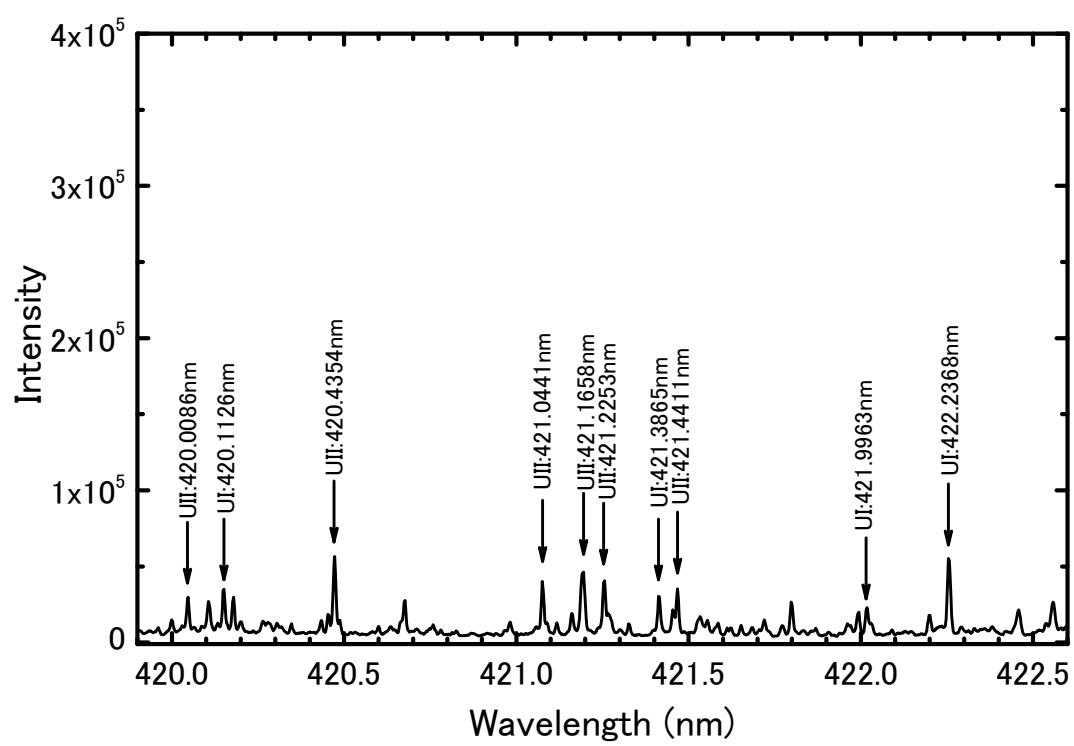
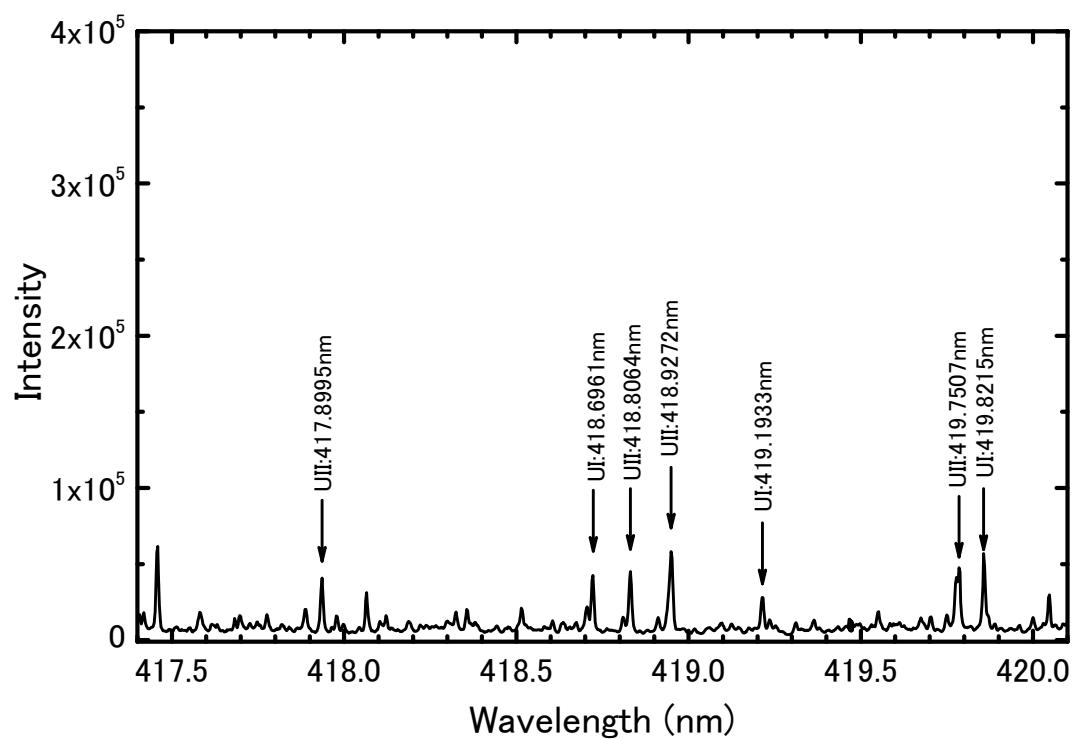


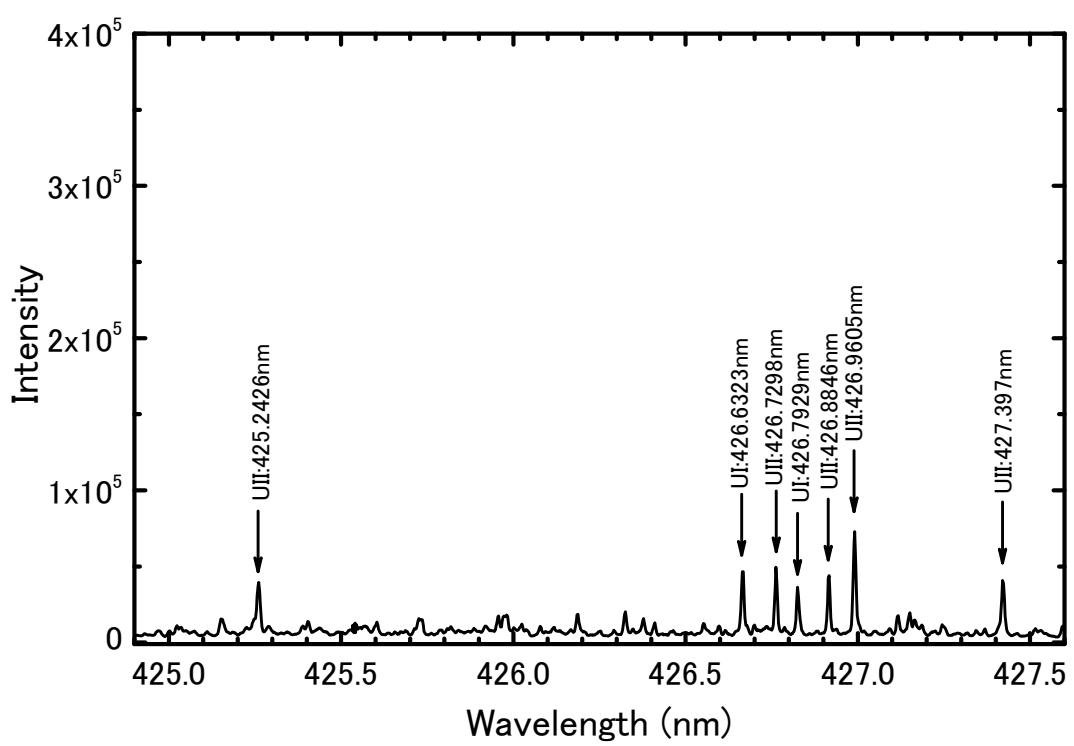
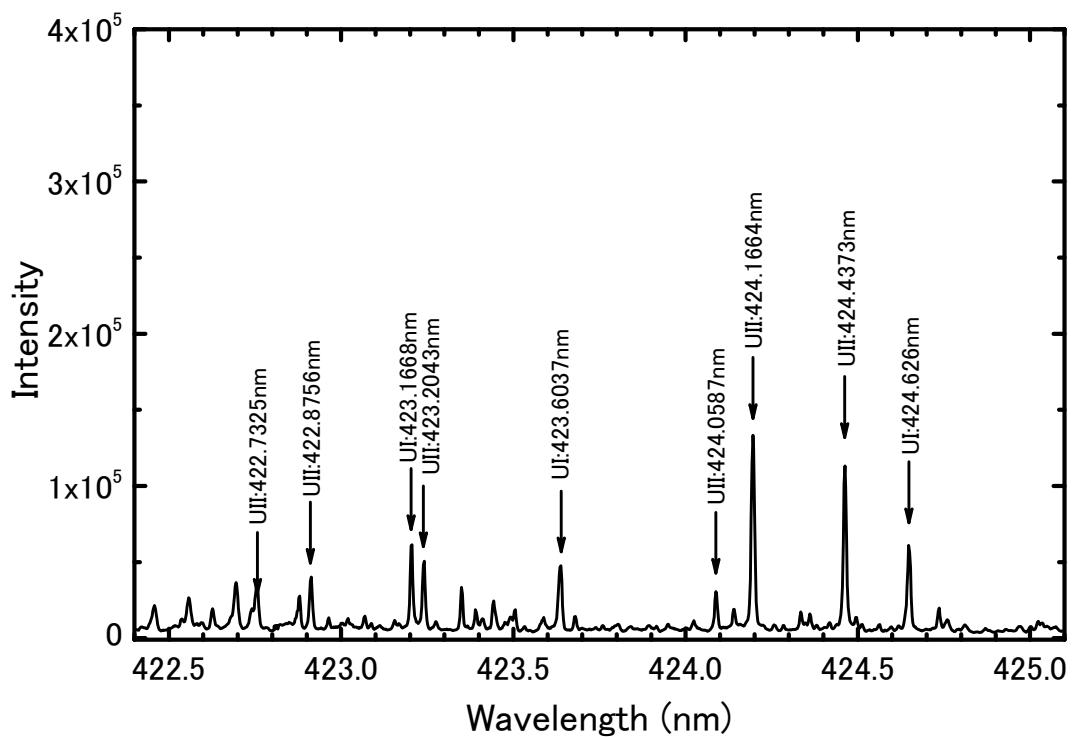


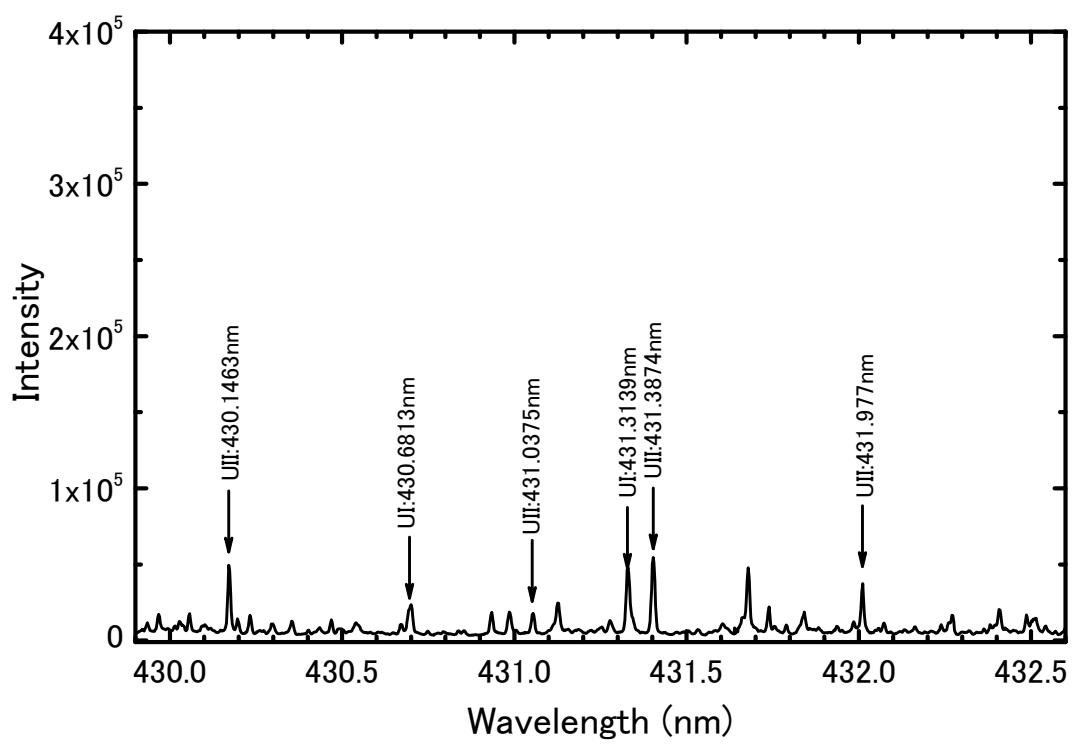
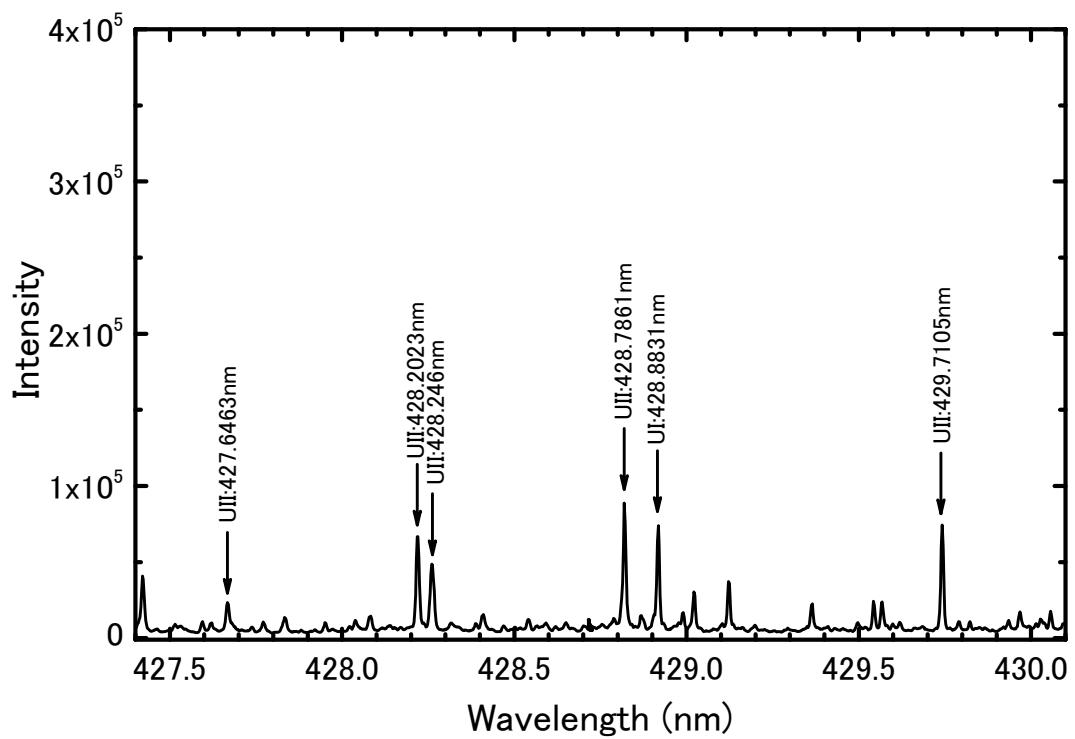


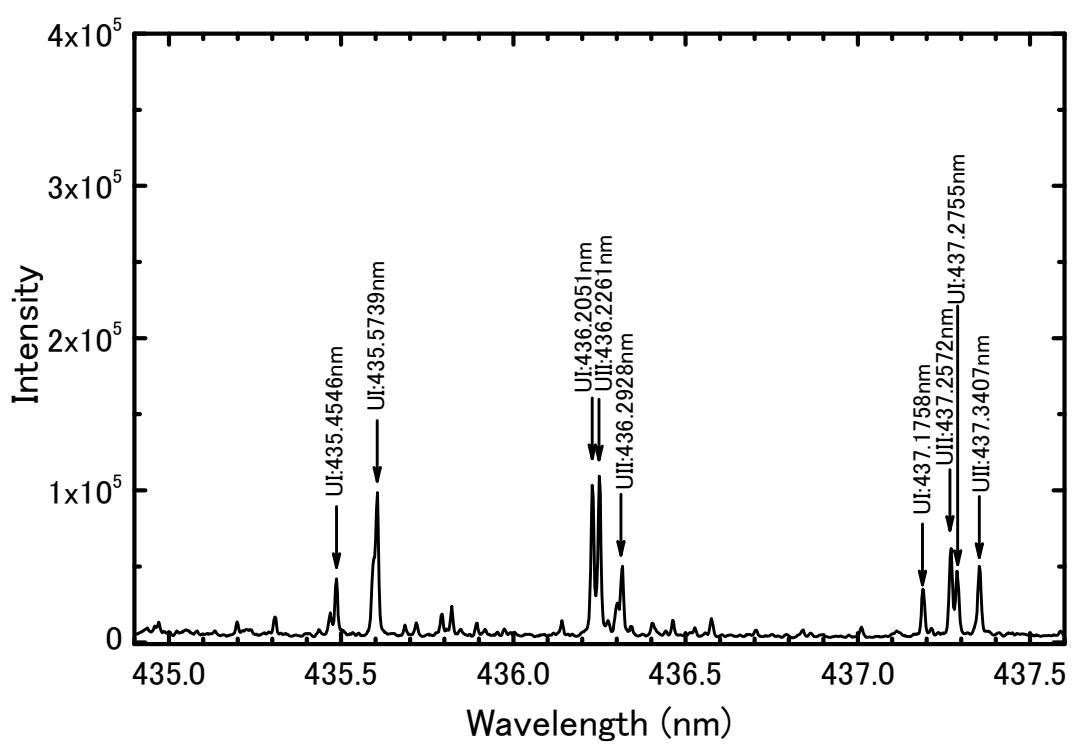
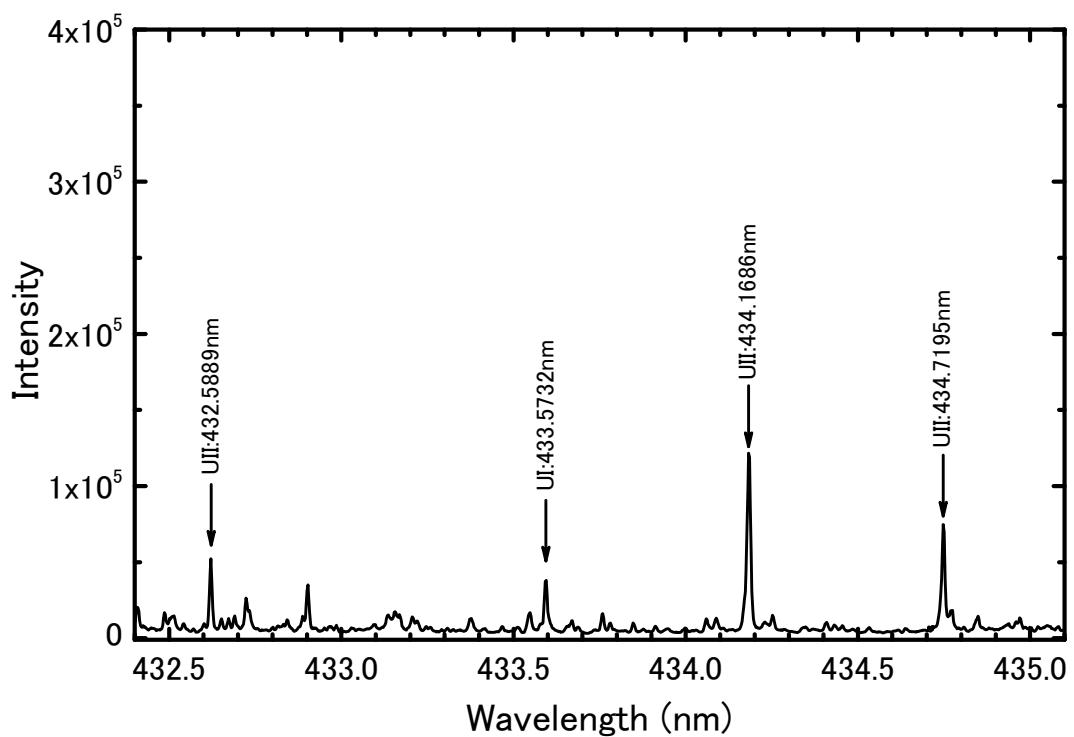


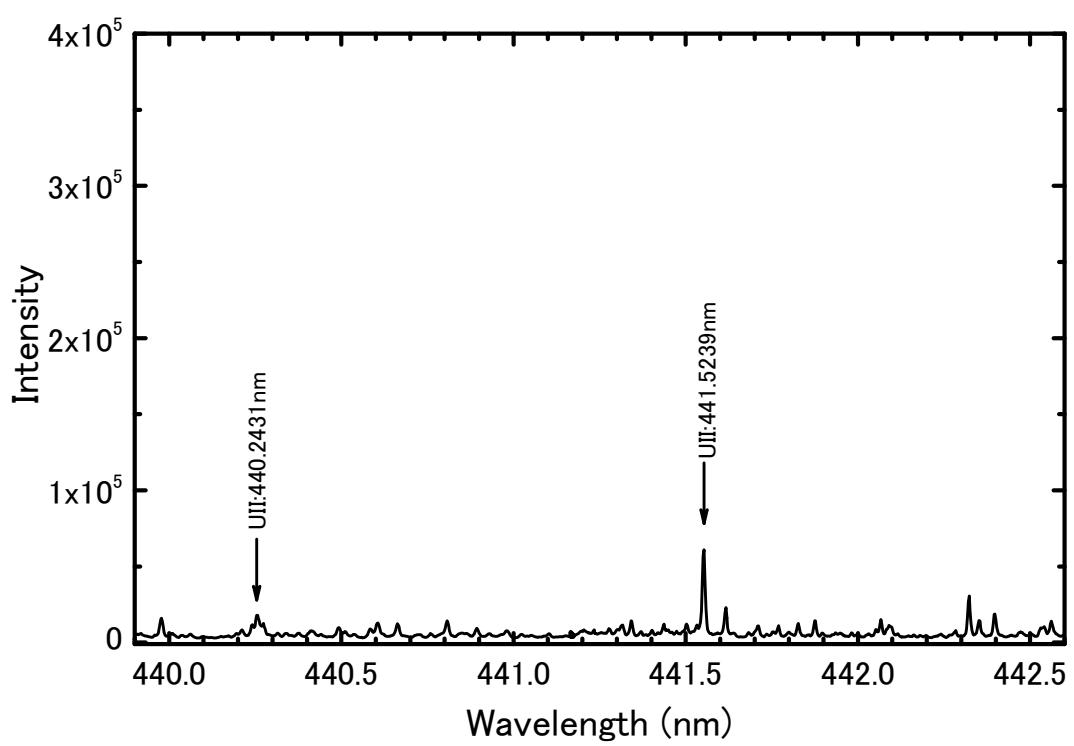
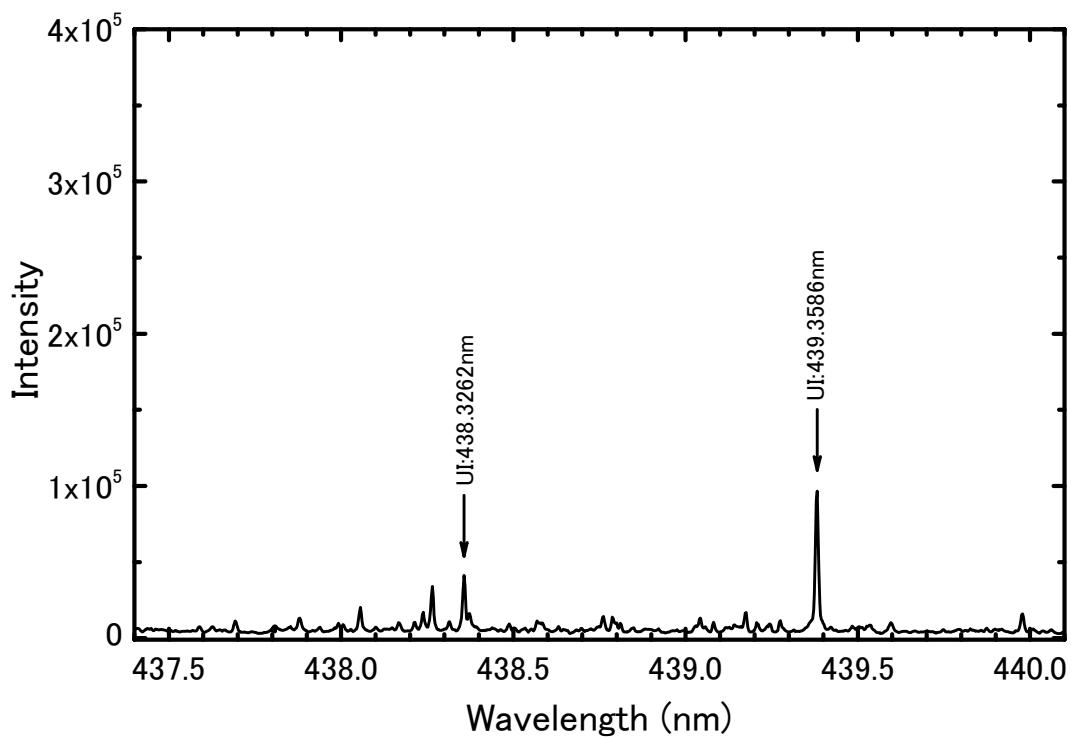


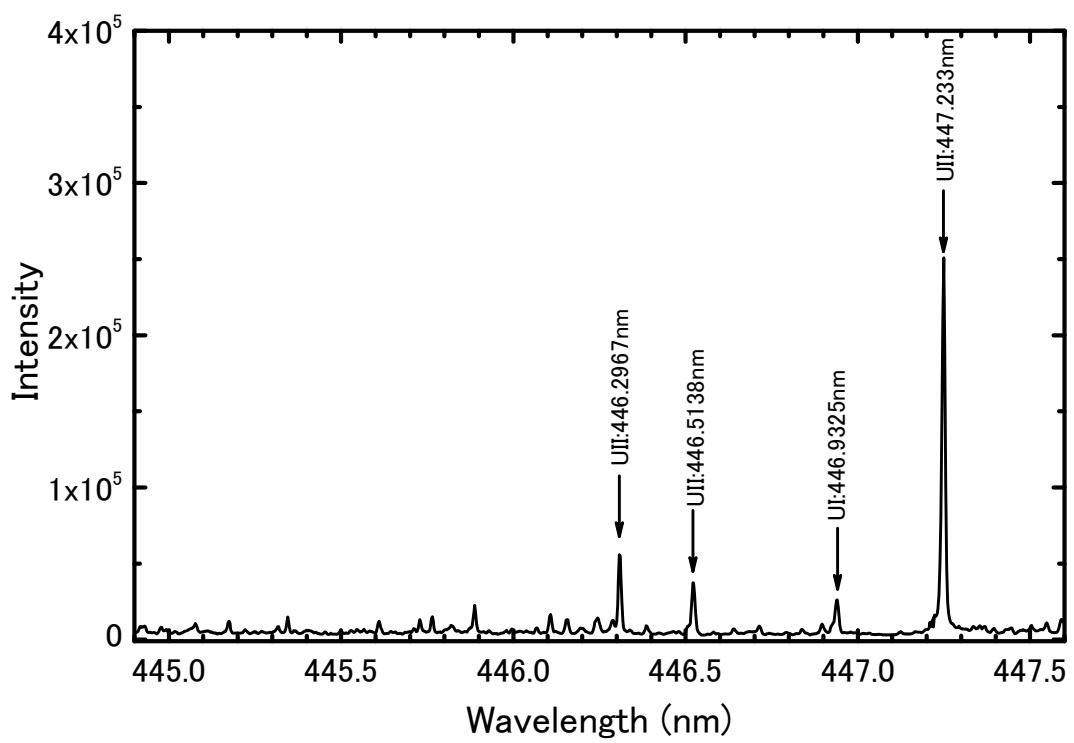
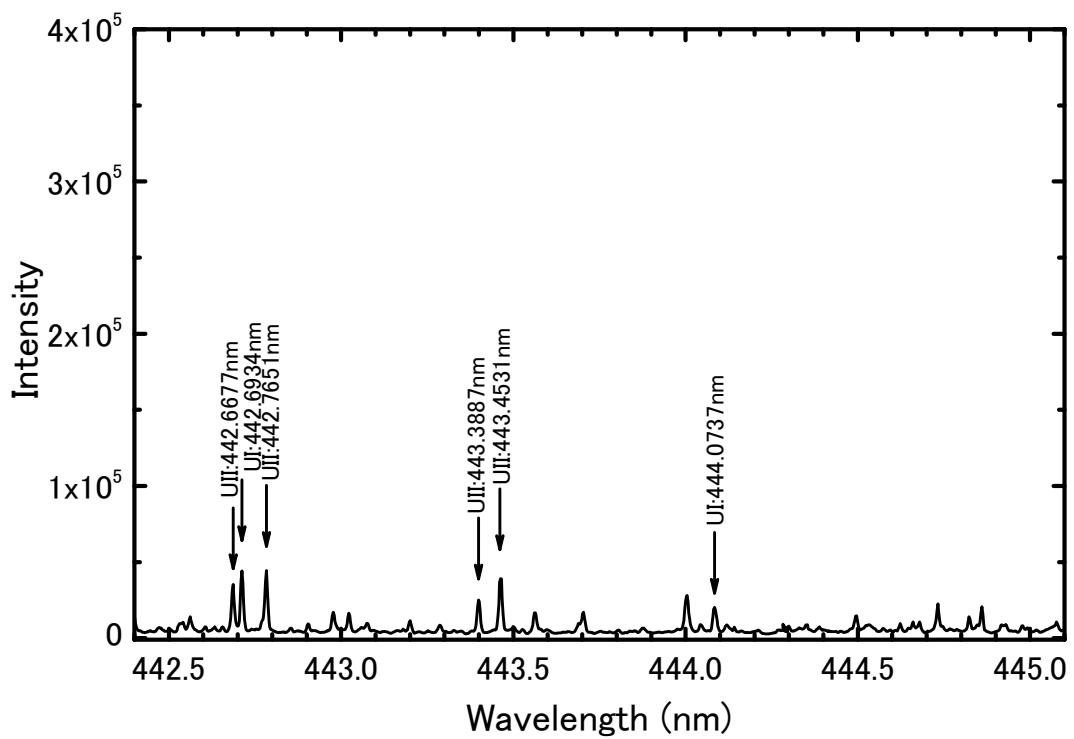


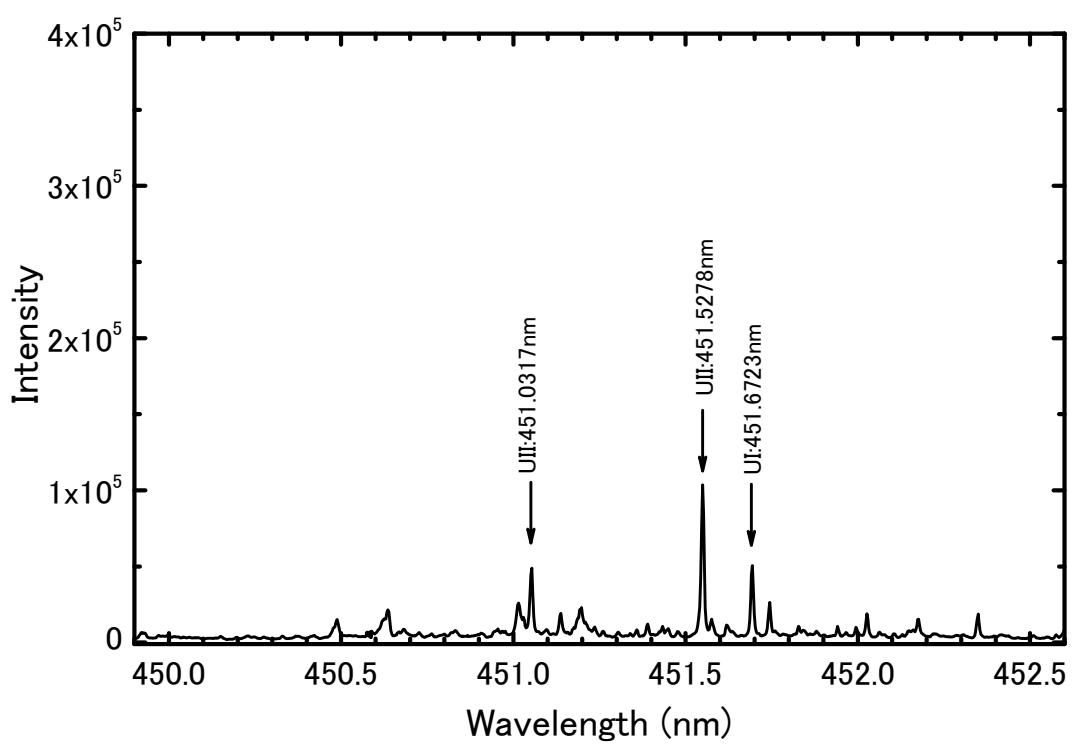
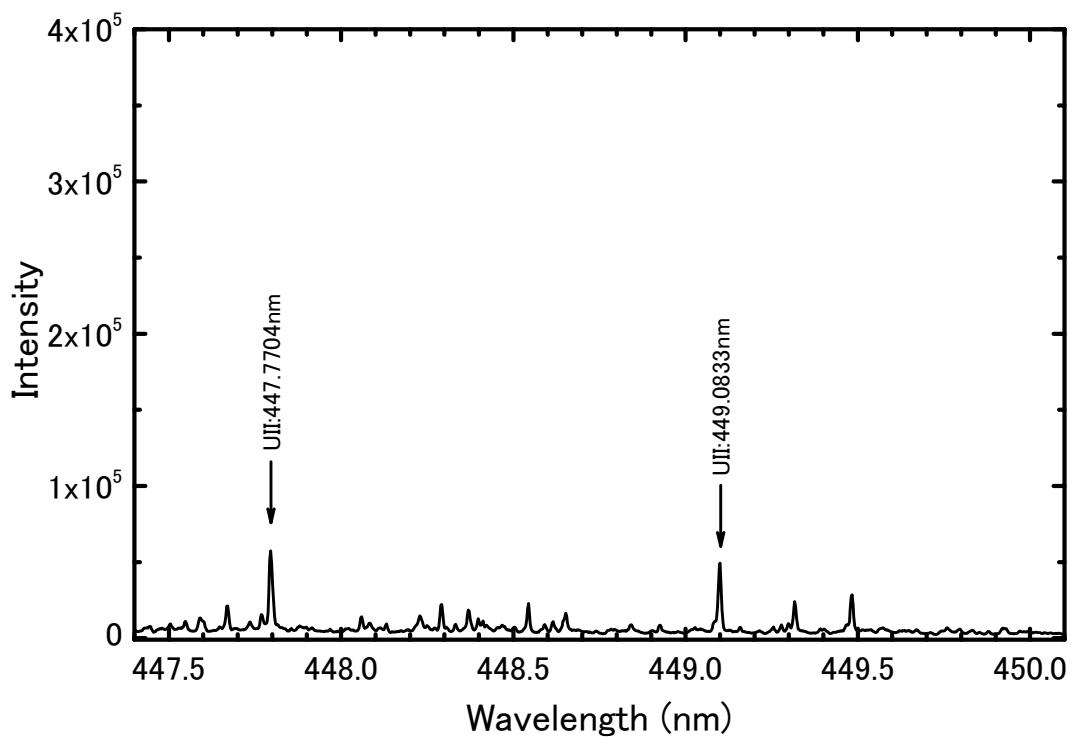


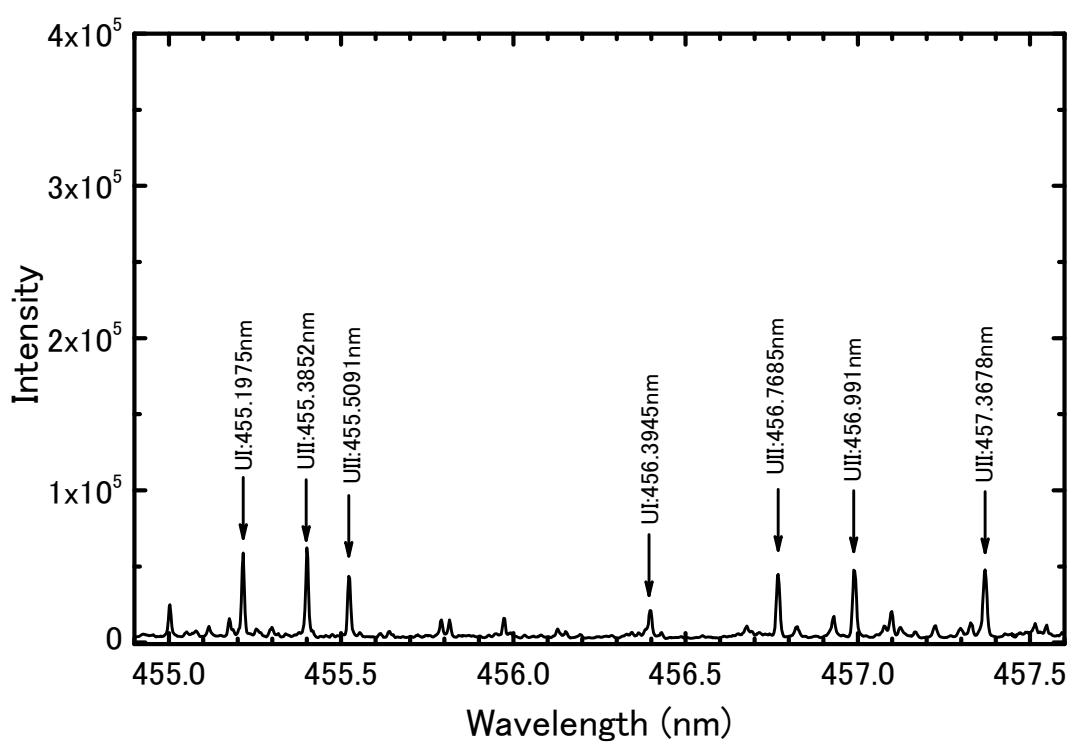
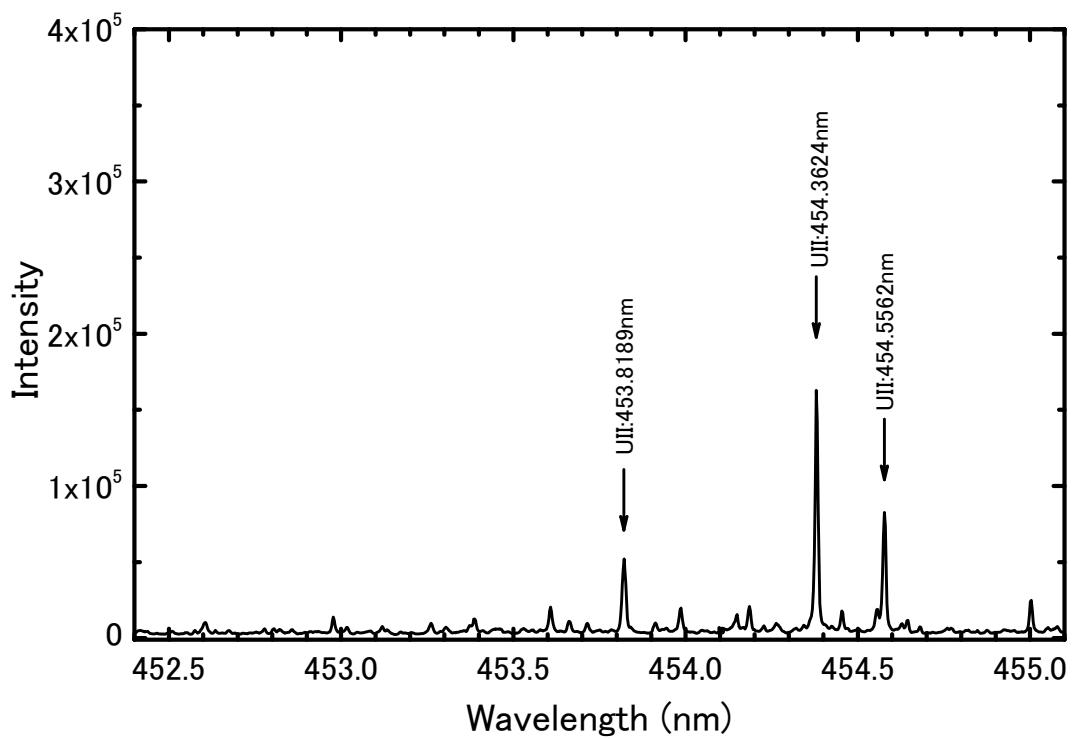


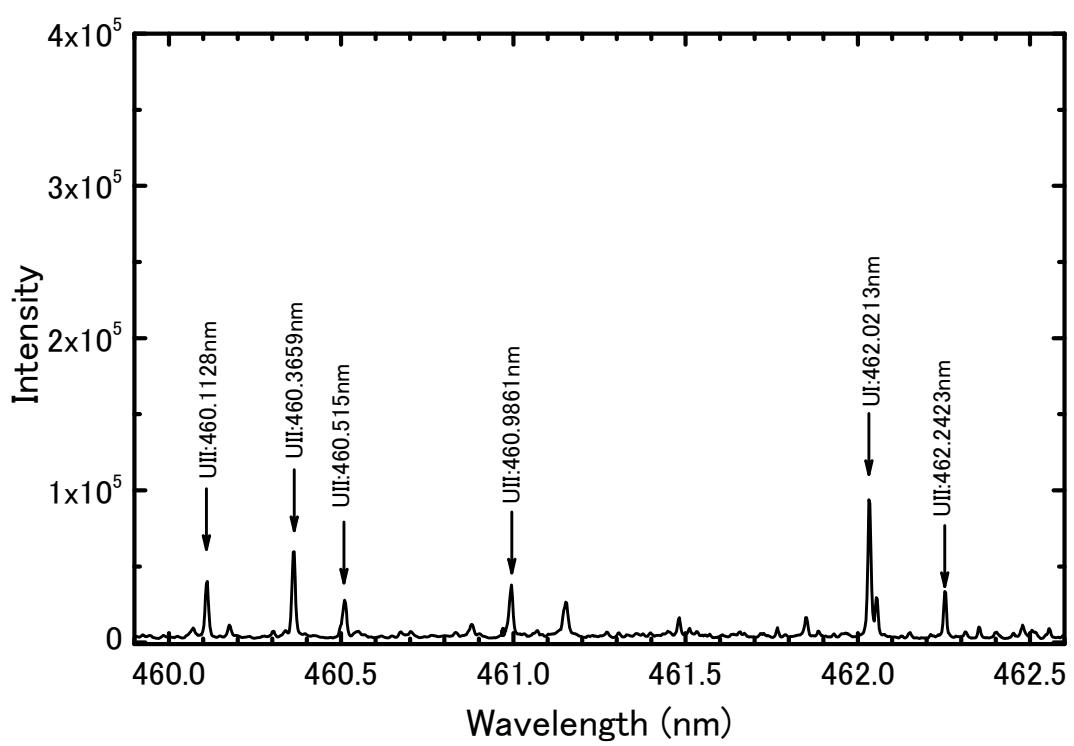
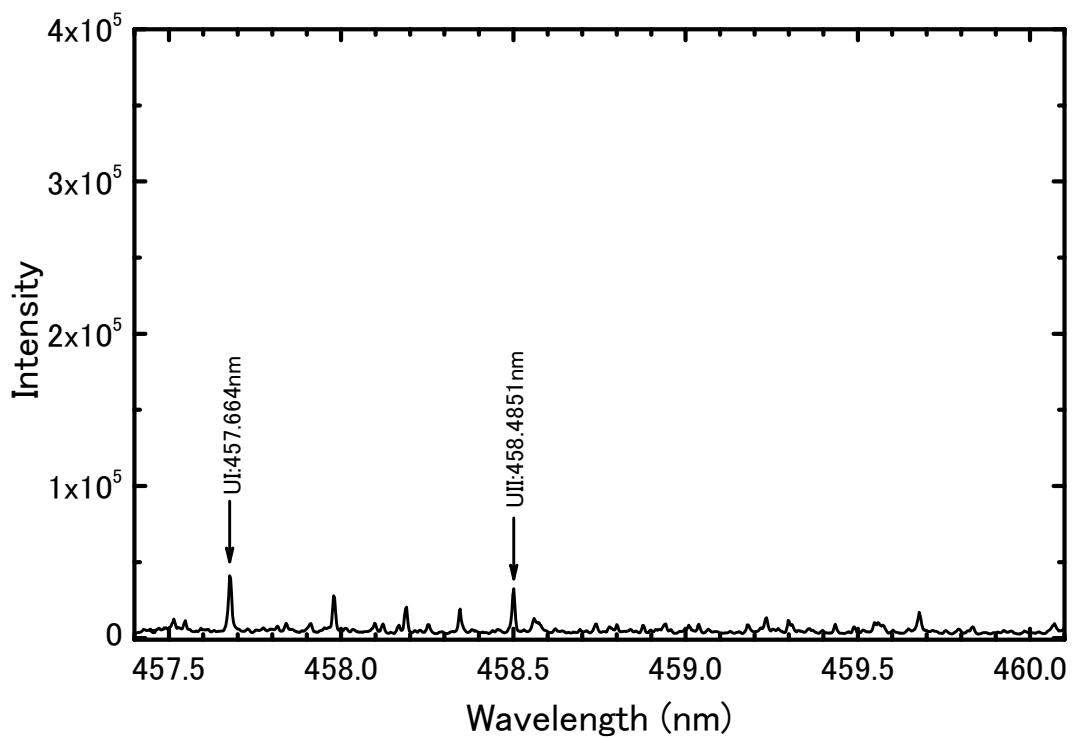


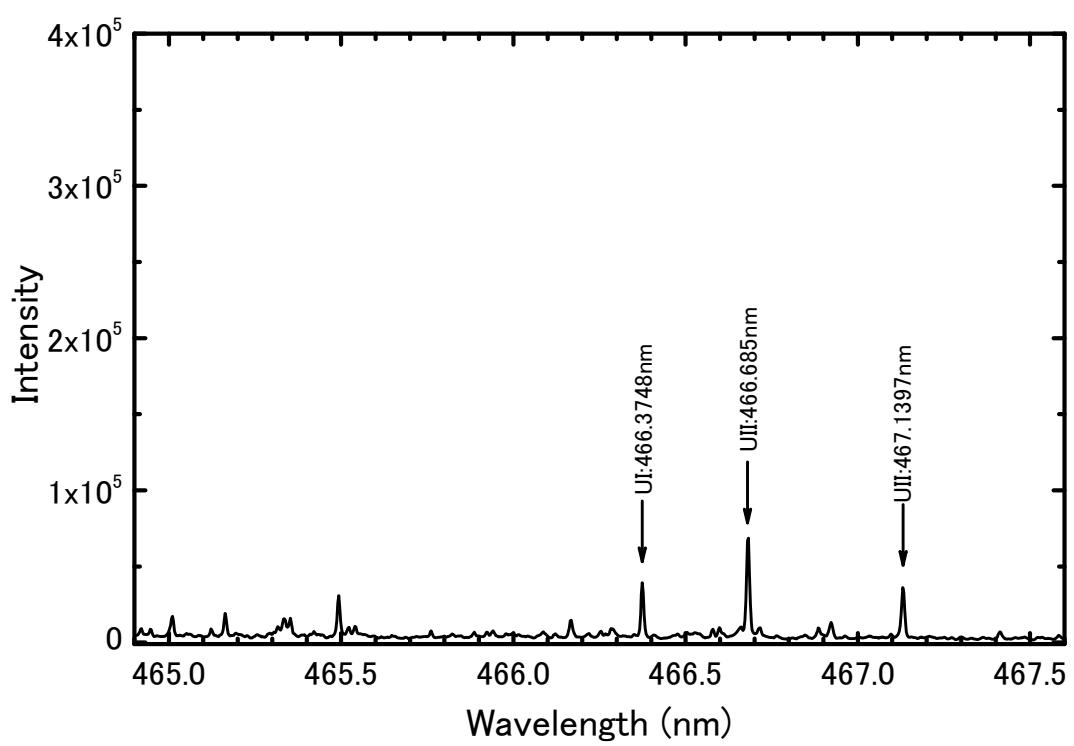
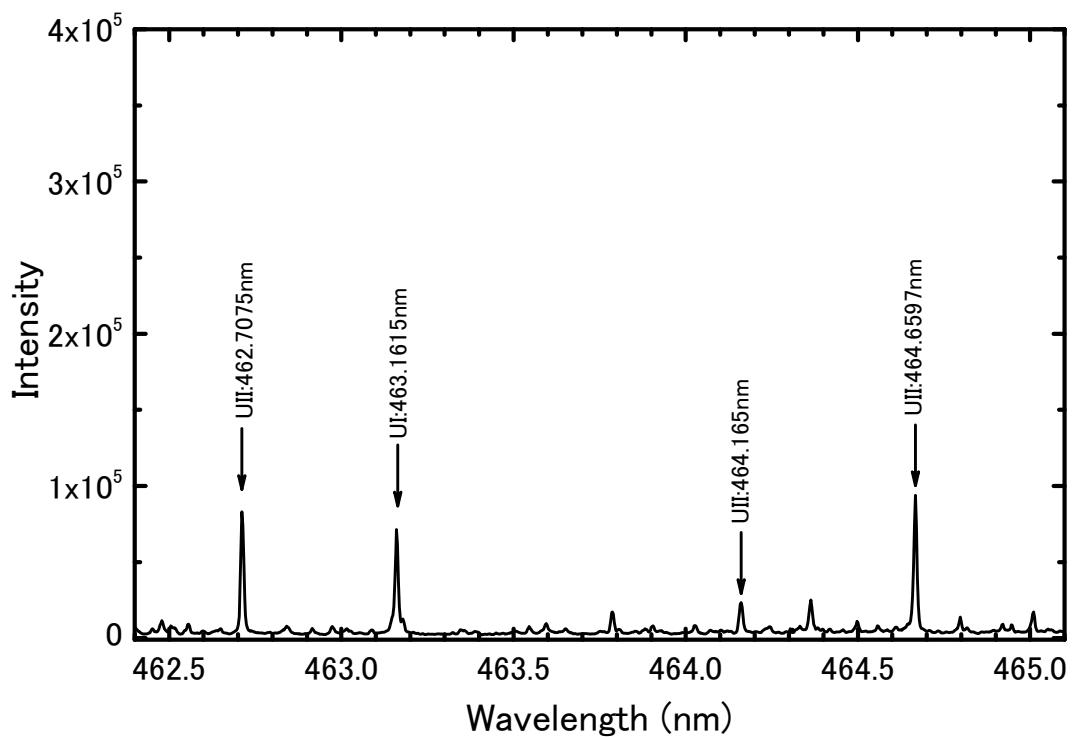


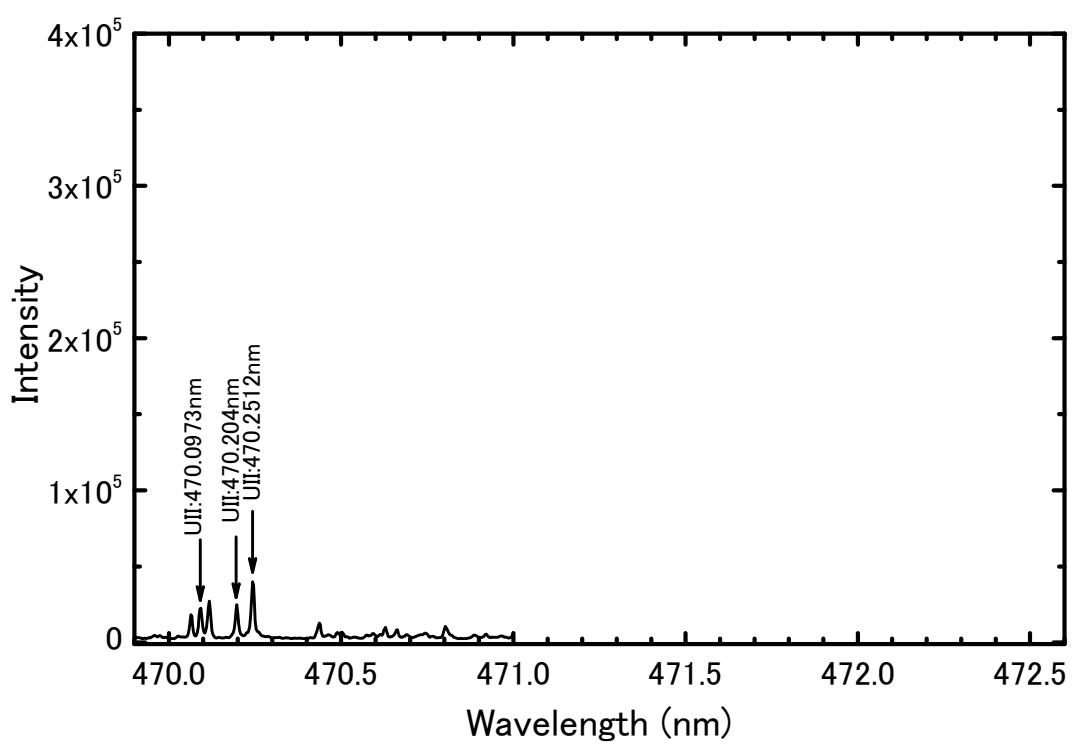
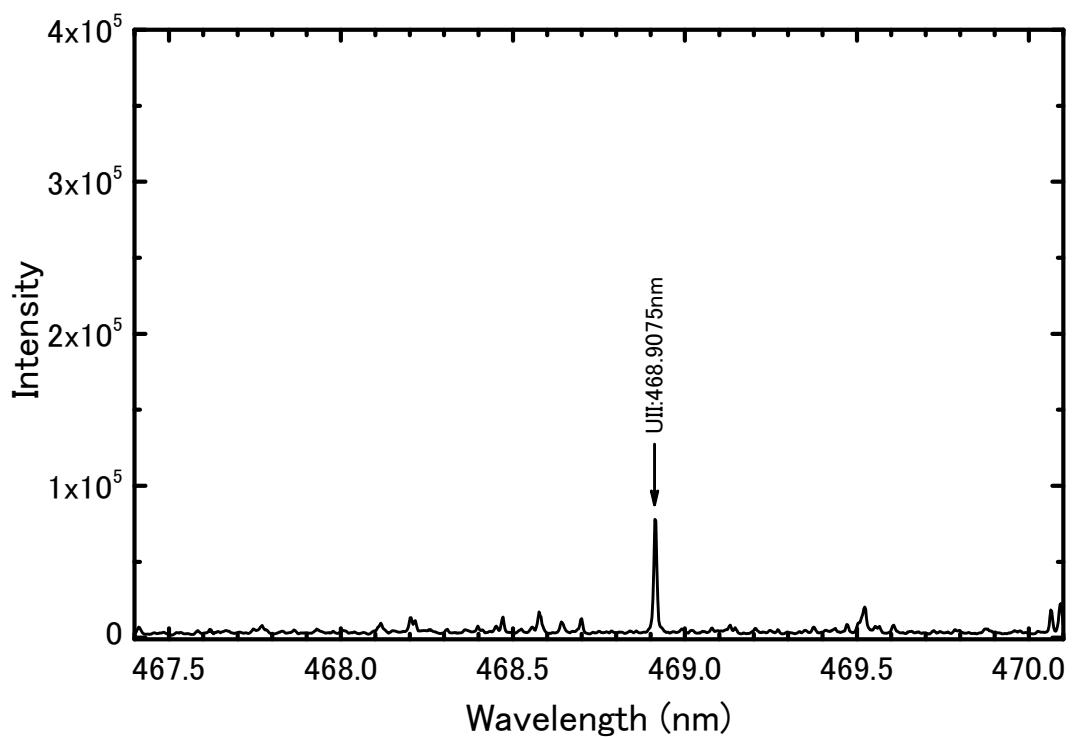












## Appendix 2 Identified spectra data of uranium

Measurement				CfA DataBase													
Wave length	Int	log(gf)	A	Wave length	log(gf)	A	I o n	Lower Energy Level						Upper Energy Level			
				nm	1/s	nm	1/s	1/cm	eV	J	Conf	1/cm	eV	J	Conf		
343.3908	14	0.643	1.66E+08	343.3902	0.414	9.78E+07	I	7645.645	0.95	8	d7s2	*5L	36758.687	4.56	7		
343.4144	27	-0.831	6.95E+06	343.4143	-0.944	5.36E+06	II	1749.123	0.22	6.5	f3d2	*6L	30860.121	3.83	5.5		
343.4635	16	-0.429	1.41E+07	343.4605	-0.620	9.04E+06	I	0.000	0.00	6	d7s2	*5L	29107.089	3.61	7		
343.5231	16	0.114	4.90E+07	343.5190	-0.058	3.30E+07	I	3800.829	0.47	7	d7s2	*5L	32902.958	4.08	7		
343.5529	41	-0.028	4.82E+07	343.5491	0.063	5.94E+07	I	0.000	0.00	6	d7s2	*5L	29099.578	3.61	5		
343.6864	19	-0.530	2.09E+07	343.6780	-0.838	1.02E+07	II	4706.277	0.58	2.5	f3ds	*6H	33794.945	4.19	3.5		
344.3101	23	-0.293	2.61E+07	344.2949	-0.274	2.72E+07	I	0.000	0.00	6	d7s2	*5L	29036.544	3.60	5		
344.8890	7	-0.791	8.25E+06	344.8786	-0.533	1.49E+07	I	0.000	0.00	6	d7s2	*5L	28987.403	3.59	5		
345.3811	17	-0.474	1.88E+07	345.3781	-0.732	1.04E+07	II	5667.334	0.70	3.5	f3ds	*4H	34612.820	4.29	4.5		
345.5822	22	-0.924	4.16E+06	345.5744	-1.009	3.42E+06	II	1749.123	0.22	6.5	f3d2	*6L	30678.168	3.80	7.5		
345.7837	33	-0.182	3.06E+07	345.7712	-0.422	1.76E+07	II	5526.750	0.69	6.5	f3ds	*6K	34439.328	4.27	5.5		
345.8302	23	0.293	8.42E+07	345.8170	0.131	5.80E+07	I	3800.829	0.47	7	d7s2	*5L	32709.579	4.06	6		
346.0067	33	-0.140	3.67E+07	345.9919	-0.160	3.50E+07	I	0.000	0.00	6	d7s2	*5L	28894.136	3.58	5		
346.2358	18	-0.385	1.76E+07	346.2220	-0.212	2.63E+07	I	0.000	0.00	6	d7s2	*5L	28874.929	3.58	6		
346.3804	19	-0.245	2.88E+07	346.3548	0.020	5.29E+07	I	620.323	0.08	5	d7s2	*5K	29484.185	3.66	5		
346.6445	26	-0.232	2.96E+07	346.6301	0.079	6.05E+07	I	0.000	0.00	6	d7s2	*5L	28840.936	3.58	5		
347.2576	20	-0.902	5.78E+06	347.2562	-1.157	3.21E+06	II	2294.692	0.28	5.5	f3d2	*6K	31083.633	3.85	5.5		
347.5080	19	-1.124	3.46E+06	347.4986	-1.328	2.16E+06	II	914.758	0.11	4.5	f3d2	*6K	29683.613	3.68	5.5		
348.0473	14	0.338	1.09E+08	348.0364	0.533	1.71E+08	I	5762.078	0.71	5	d7s2	*3I	34486.486	4.28	5		
348.2668	37	-0.730	8.53E+06	348.2490	-0.574	1.22E+07	II	1749.123	0.22	6.5	f3d2	*6L	30455.992	3.78	5.5		
348.9509	34	-0.147	3.55E+07	348.9367	0.469	1.47E+08	I	0.000	0.00	6	d7s2	*5L	28650.294	3.55	5		
348.9691	17	-0.487	1.49E+07	348.9563	-0.573	1.22E+07	II	5790.641	0.72	5.5	f3ds	*4K	34439.328	4.27	5.5		
349.0375	18	-1.195	2.91E+06	349.0232	-1.051	4.06E+06	II	914.758	0.11	4.5	f3d2	*6K	29557.951	3.66	5.5		
349.3386	24	-0.368	1.67E+07	349.3333	-0.392	1.58E+07	II	5259.653	0.65	7.5	f3ds	*6L	33877.422	4.20	6.5		
349.4081	29	-0.140	3.60E+07	349.3996	-0.130	3.68E+07	I	620.323	0.08	5	d7s2	*5K	29232.657	3.62	5		
349.6540	33	-0.774	5.74E+06	349.6414	-0.691	6.94E+06	II	1749.123	0.22	6.5	f3d2	*6L	30341.670	3.76	7.5		
349.7398	15	0.080	5.04E+07	349.7259	-0.098	3.35E+07	I	3800.829	0.47	7	d7s2	*5L	32386.473	4.02	6		
349.9506	19	-0.974	4.13E+06	349.9324	-0.970	4.17E+06	II	2294.692	0.28	5.5	f3d2	*6K	30863.463	3.83	6.5		
350.0247	36	-0.139	3.60E+07	350.0076	0.058	5.65E+07	I	0.000	0.00	6	d7s2	*5L	28562.634	3.54	5		
350.1196	14	0.124	8.04E+07	350.1007	-0.322	2.88E+07	I	4453.419	0.55	4	d7s2	*5I	33008.464	4.09	4		
350.2414	8	-0.178	5.16E+07	350.2236	0.111	1.00E+08	I	3868.486	0.48	3	d7s2	*5H	32413.510	4.02	3		
350.4188	20	0.156	4.58E+07	350.4009	0.227	5.39E+07	I	3800.829	0.47	7	d7s2	*5L	32331.405	4.01	8		
350.5121	13	-0.542	1.04E+07	350.4931	-0.569	9.76E+06	I	0.000	0.00	6	d7s2	*5L	28523.073	3.54	7		
350.5266	20	-0.471	1.31E+07	350.5074	-0.485	1.27E+07	II	5259.653	0.65	7.5	f3ds	*6L	33781.566	4.19	6.5		
350.5638	12	-0.772	6.55E+06	350.5436	-0.897	4.91E+06	II	4585.431	0.57	6.5	f3d2	*6M	33104.394	4.10	6.5		
350.7222	16	-0.380	1.74E+07	350.7053	-0.290	2.14E+07	I	620.323	0.08	5	d7s2	*5K	29126.142	3.61	6		
350.7510	27	-0.216	3.00E+07	350.7344	0.146	6.90E+07	I	0.000	0.00	6	d7s2	*5L	28503.448	3.53	5		
350.8999	14	-1.128	3.36E+06	350.8841	-0.918	5.45E+06	II	1749.123	0.22	6.5	f3d2	*6L	30240.410	3.75	5.5		
351.1567	14	-0.554	1.16E+07	351.1443	-0.369	1.78E+07	I	0.000	0.00	6	d7s2	*5L	28470.178	3.53	6		
351.3756	35	-0.034	5.56E+07	351.3674	-0.169	4.07E+07	I	620.323	0.08	5	d7s2	*5K	29072.424	3.60	4		
351.4716	57	0.092	6.06E+07	351.4611	0.453	1.39E+08	I	0.000	0.00	6	d7s2	*5L	28444.517	3.53	5		
351.5347	16	-0.683	8.00E+06	351.5231	-1.020	3.68E+06	II	4420.872	0.55	5.5	f3s2	*4I	32860.371	4.07	6.5		
351.7013	15	0.029	8.24E+07	351.6839	-0.102	6.09E+07	I	3868.486	0.48	3	d7s2	*5H	32294.984	4.00	3		
351.7207	14	-0.467	1.31E+07	351.7048	-0.696	7.75E+06	II	6283.434	0.78	6.5	f3ds	*4L	34708.242	4.30	6.5		
352.0142	25	-1.086	3.68E+06	351.9955	-0.941	5.14E+06	II	914.758	0.11	4.5	f3d2	*6K	29316.090	3.63	5.5		
352.0992	16	-0.451	1.36E+07	352.0787	-0.596	9.74E+06	II	6283.434	0.78	6.5	f3ds	*4L	34678.055	4.30	6.5		
352.2873	12	-0.059	3.61E+07	352.2672	-0.114	3.18E+07	I	3800.829	0.47	7	d7s2	*5L	32180.257	3.99	6		
352.5863	12	-0.591	1.25E+07	352.5652	-0.377	2.05E+07	I	0.000	0.00	6	d7s2	*5L	28355.443	3.52	5		
352.5988	11	-0.151	3.16E+07	352.5751	-0.640	1.02E+07	II	9241.966	1.15	4.5	*		37596.613	4.66	5.5		
352.6796	16	-1.343	1.74E+06	352.6596	-1.233	2.24E+06	II	289.036	0.04	5.5	f3d2	*6L	28636.887	3.55	6.5		
352.9940	10	-1.588	1.15E+06	352.9770	-1.775	7.49E+05	II	0.000	0.00	4.5	f3s2	*4I	28322.361	3.51	5.5		
353.1261	22	-0.991	4.56E+06	353.1111	-0.846	6.35E+06	II	1749.123	0.22	6.5	f3d2	*6L	30060.730	3.73	5.5		
353.1691	14	-0.452	2.10E+07	353.1645	-0.305	2.94E+07	I	620.323	0.08	5	d7s2	*5K	28927.648	3.59	4		
353.3659	47	-0.773	7.50E+06	353.3566	-0.741	8.08E+06	II	914.758	0.11	4.5	f3d2	*6K	29206.695	3.62	5.5		
353.4429	23	-0.325	1.68E+07	353.4335	-0.258	1.96E+07	I	0.000	0.00	6	d7s2	*5L	28285.783	3.51	7		

Measurement				CfA DataBase													
Wave length	Int	log(gf)	A	Wave length	log(gf)	A	I o n	Lower Energy Level					Upper Energy Level				
				nm	1/s	nm	1/s	1/cm	eV	J	Conf	1/cm	eV	J	Conf		
353.5983	13	-0.482	1.60E+07	353.5831	-0.813	7.46E+06	I	620.323	0.08	5	d7s2	*5K	28894.136	3.58	5		
353.7463	17	-0.468	1.65E+07	353.7288	-0.384	2.00E+07	I	0.000	0.00	6	d7s2	*5L	28262.167	3.50	5		
353.7615	14	-0.148	2.70E+07	353.7461	-0.435	1.40E+07	II	8521.928	1.06	7.5	f3ds	*6K	36782.715	4.56	6.5		
353.8416	13	-0.475	1.37E+07	353.8235	-0.610	1.01E+07	I	620.323	0.08	5	d7s2	*5K	28874.929	3.58	6		
353.9859	16	0.053	4.63E+07	353.9651	0.080	4.92E+07	I	3800.829	0.47	7	d7s2	*5L	32044.130	3.97	6		
354.0674	29	-0.276	2.35E+07	354.0465	-0.232	2.60E+07	II	5716.448	0.71	4.5	f4s	6I	33953.253	4.21	5.5		
354.2785	22	0.261	8.81E+07	354.2570	0.261	8.81E+07	I	4275.707	0.53	6	d7s2	*5K	32495.734	4.03	5		
354.3378	15	-0.635	8.79E+06	354.3157	-0.634	8.81E+06	II	5259.653	0.65	7.5	f3ds	*6L	33475.012	4.15	6.5		
354.3949	10	0.381	8.51E+07	354.3727	0.208	5.71E+07	I	7326.118	0.91	7	d7s2	*5K	35536.935	4.41	7		
354.4434	10	-0.631	8.87E+06	354.4206	-0.713	7.34E+06	II	6283.434	0.78	6.5	f3ds	*4L	34490.438	4.28	6.5		
354.5695	12	-0.006	4.02E+07	354.5433	0.134	5.55E+07	I	4275.707	0.53	6	d7s2	*5K	32472.952	4.03	6		
354.5884	15	0.090	5.93E+07	354.5658	0.156	6.90E+07	I	4453.419	0.55	4	d7s2	*5I	32648.874	4.05	5		
354.6344	17	-0.402	1.62E+07	354.6139	-0.314	1.98E+07	I	620.323	0.08	5	d7s2	*5K	28811.950	3.57	6		
354.6887	24	-0.967	4.77E+06	354.6677	-1.066	3.79E+06	II	1749.123	0.22	6.5	f3d2	*6L	29936.475	3.71	5.5		
354.7408	27	-0.951	3.71E+06	354.7191	-0.855	4.62E+06	II	1749.123	0.22	6.5	f3d2	*6L	29932.393	3.71	7.5		
354.8797	10	-0.094	3.88E+07	354.8614	-0.072	4.08E+07	I	4275.707	0.53	6	d7s2	*5K	32447.673	4.02	5		
355.0363	8	0.008	5.99E+07	355.0172	0.109	7.55E+07	I	5762.078	0.71	5	d7s2	*3I	33921.684	4.21	4		
355.0998	30	-1.171	2.98E+06	355.0822	-0.584	1.15E+07	II	0.000	0.00	4.5	f3s2	*4I	28154.451	3.49	5.5		
355.1202	11	-1.547	1.07E+06	355.1043	-1.452	1.33E+06	II	289.036	0.04	5.5	f3d2	*6L	28441.730	3.53	6.5		
355.2324	15	-1.120	4.01E+06	355.2165	-0.877	7.01E+06	II	2294.692	0.28	5.5	f3d2	*6K	30438.496	3.77	4.5		
355.3157	7	-0.287	3.90E+07	355.2950	-0.354	3.34E+07	I	4453.419	0.55	4	d7s2	*5I	32591.005	4.04	3		
355.3562	8	-0.303	2.02E+07	355.3434	-0.133	2.99E+07	I	3800.829	0.47	7	d7s2	*5L	31934.582	3.96	6		
355.5452	41	-0.120	2.67E+07	355.5319	0.057	4.01E+07	I	0.000	0.00	6	d7s2	*5L	28118.841	3.49	7		
355.8020	30	-0.215	2.47E+07	355.7841	-0.186	2.64E+07	I	0.000	0.00	6	d7s2	*5L	28098.908	3.48	6		
356.0519	13	0.269	1.40E+08	356.0308	0.131	1.02E+08	I	5991.313	0.74	4	d7s2	*3H	34070.749	4.22	3		
356.0648	17	-1.150	3.10E+06	356.0442	-1.278	2.31E+06	II	1749.123	0.22	6.5	f3d2	*6L	29827.506	3.70	5.5		
356.1640	23	0.209	6.54E+07	356.1411	0.191	6.28E+07	I	3800.829	0.47	7	d7s2	*5L	31871.569	3.95	6		
356.2027	50	-0.021	4.56E+07	356.1804	0.300	9.53E+07	I	0.000	0.00	6	d7s2	*5L	28067.646	3.48	5		
356.3888	37	-0.166	2.76E+07	356.3656	-0.190	2.61E+07	I	0.000	0.00	6	d7s2	*5L	28053.057	3.48	6		
356.4421	12	-0.548	1.14E+07	356.4173	-0.626	9.55E+06	I	620.323	0.08	5	d7s2	*5K	28669.315	3.55	6		
356.5121	14	-0.027	4.11E+07	356.4880	-0.325	2.07E+07	II	9553.185	1.18	5.5	f3ds	*	37596.613	4.66	5.5		
356.5291	12	0.019	4.99E+07	356.5046	-0.081	3.96E+07	I	4275.707	0.53	6	d7s2	*5K	32317.828	4.01	5		
356.6832	58	0.129	6.42E+07	356.6591	0.655	2.15E+08	I	620.323	0.08	5	d7s2	*5K	28650.294	3.55	5		
357.1127	8	-1.093	3.52E+06	357.0947	-1.258	2.41E+06	II	4420.872	0.55	5.5	f3s2	*4I	32416.658	4.02	5.5		
357.1375	11	-0.637	1.10E+07	357.1164	-0.533	1.39E+07	I	620.323	0.08	5	d7s2	*5K	28614.407	3.55	5		
357.1766	7	-0.886	4.86E+06	357.1567	-0.887	4.84E+06	II	5790.641	0.72	5.5	f3ds	*4K	33781.566	4.19	6.5		
357.1869	8	-1.074	3.15E+06	357.1692	-0.958	4.11E+06	II	4420.872	0.55	5.5	f3s2	*4I	32410.818	4.02	6.5		
357.4183	16	0.449	9.80E+07	357.4110	0.350	7.79E+07	I	7005.532	0.87	6	d7s2	*3K	34976.543	4.34	7		
357.4854	26	-0.306	1.72E+07	357.4760	-0.282	1.82E+07	I	0.000	0.00	6	d7s2	*5L	27965.923	3.47	7		
357.8114	33	-0.218	2.43E+07	357.7916	-0.233	2.34E+07	I	0.000	0.00	6	d7s2	*5L	27941.253	3.46	6		
357.8510	22	-0.377	1.99E+07	357.8327	-0.409	1.85E+07	I	0.000	0.00	6	d7s2	*5L	27938.049	3.46	5		
358.0461	24	-0.235	3.37E+07	358.0246	-0.436	2.12E+07	I	620.323	0.08	5	d7s2	*5K	28543.393	3.54	4		
358.2071	24	-0.376	1.82E+07	358.1837	-0.425	1.63E+07	II	5716.448	0.71	4.5	f4s	6I	33627.116	4.17	5.5		
358.2873	15	0.077	4.77E+07	358.2622	0.011	4.10E+07	I	4275.707	0.53	6	d7s2	*5K	32180.257	3.99	6		
358.5132	63	0.088	4.24E+07	358.4878	0.712	1.78E+08	I	0.000	0.00	6	d7s2	*5L	27886.992	3.46	7		
358.6093	23	-0.307	2.84E+07	358.5837	-0.338	2.65E+07	I	620.323	0.08	5	d7s2	*5K	28499.859	3.53	4		
358.8048	7	-0.240	2.71E+07	358.7784	-0.170	3.18E+07	I	4453.419	0.55	4	d7s2	*5I	32317.828	4.01	5		
358.9880	19	-0.434	1.47E+07	358.9659	-0.340	1.82E+07	I	620.323	0.08	5	d7s2	*5K	28470.178	3.53	6		
359.0006	18	0.050	4.47E+07	358.9787	0.050	4.47E+07	I	3800.829	0.47	7	d7s2	*5L	31649.685	3.92	6		
359.0530	13	-0.790	6.00E+06	359.0318	-0.580	9.72E+06	II	5259.653	0.65	7.5	f3ds	*6L	33104.394	4.10	6.5		
359.0718	23	-1.209	2.67E+06	359.0496	-1.069	3.68E+06	II	914.758	0.11	4.5	f3d2	*6K	28758.121	3.57	5.5		
359.1948	25	-0.319	2.76E+07	359.1745	-0.130	4.26E+07	I	620.323	0.08	5	d7s2	*5K	28454.002	3.53	4		
359.3171	10	-0.706	9.25E+06	359.2969	-0.643	1.07E+07	I	620.323	0.08	5	d7s2	*5K	28444.517	3.53	5		
359.3377	14	-0.030	3.22E+07	359.3193	0.106	4.39E+07	I	4275.707	0.53	6	d7s2	*5K	32098.168	3.98	7		
359.3873	10	0.039	5.13E+07	359.3685	-0.013	4.55E+07	I	5762.078	0.71	5	d7s2	*3I	33580.727	4.16	5		

Measurement				CfA DataBase													
Wave length	Int	log(gf)	A	Wave length	log(gf)	A	I o n	Lower Energy Level					Upper Energy Level				
				nm	1/s	nm	1/s	1/cm	eV	J	Conf	1/cm	eV	J	Conf		
359.5039	36	-0.901	5.40E+06	359.4955	-1.013	4.17E+06	II	1749.123	0.22	6.5	f3d2	*6L	29557.951	3.66	5.5		
360.0502	18	-0.430	2.13E+07	360.0290	-0.550	1.61E+07	I	620.323	0.08	5	d7s2	*5K	28387.940	3.52	4		
360.1427	13	0.526	1.33E+08	360.1201	0.067	4.61E+07	I	8118.632	1.01	7	d27s	*5M	35879.226	4.45	6		
360.2721	25	0.222	6.59E+07	360.2483	-0.162	2.72E+07	I	3800.829	0.47	7	d7s2	*5L	31551.541	3.91	6		
360.3616	18	-0.461	1.37E+07	360.3362	-0.628	9.30E+06	I	0.000	0.00	6	d7s2	*5L	27743.944	3.44	6		
360.4008	15	0.086	4.18E+07	360.3744	-0.201	2.15E+07	I	4275.707	0.53	6	d7s2	*5K	32016.715	3.97	7		
360.5547	24	-0.371	1.99E+07	360.5275	-0.142	3.36E+07	I	0.000	0.00	6	d7s2	*5L	27729.228	3.44	5		
360.5742	15	-1.157	2.55E+06	360.5483	-1.402	1.45E+06	II	1749.123	0.22	6.5	f3d2	*6L	29476.746	3.65	6.5		
360.6582	28	-0.462	2.21E+07	360.6325	-0.568	1.73E+07	II	4663.803	0.58	3.5	f4s	6I	32384.955	4.02	3.5 f4p*		
361.0721	15	-0.497	1.16E+07	361.0485	-0.752	6.47E+06	II	6283.434	0.78	6.5	f3ds	*4L	33972.648	4.21	6.5		
361.0911	11	-0.089	4.63E+07	361.0674	-0.087	4.65E+07	I	4453.419	0.55	4	d7s2	*5I	32141.183	3.99	4		
361.1481	13	-1.166	2.49E+06	361.1236	-1.542	1.05E+06	II	2294.692	0.28	5.5	f3d2	*6K	29978.143	3.72	6.5		
361.1628	13	-0.663	1.01E+07	361.1396	-0.934	5.41E+06	I	0.000	0.00	6	d7s2	*5L	27682.224	3.43	5		
361.2888	12	-1.471	1.44E+06	361.2666	-1.309	2.09E+06	II	914.758	0.11	4.5	f3d2	*6K	28587.252	3.54	5.5		
361.5718	10	-0.807	6.12E+06	361.5521	-0.635	9.09E+06	I	0.000	0.00	6	d7s2	*5L	27650.648	3.43	6		
361.6523	16	-0.077	2.51E+07	361.6331	0.159	4.32E+07	I	3800.829	0.47	7	d7s2	*5L	31445.284	3.90	8		
361.6935	17	-1.442	1.32E+06	361.6756	-1.161	2.51E+06	II	289.036	0.04	5.5	f3d2	*6L	27930.242	3.46	6.5		
361.7636	10	0.294	1.11E+08	361.7490	-0.067	4.85E+07	I	7103.921	0.88	3	d7s2	*5G	34739.519	4.31	4		
361.7771	12	-0.150	2.41E+07	361.7624	-0.472	1.15E+07	I	3800.829	0.47	7	d7s2	*5L	31435.402	3.90	7 5K		
362.0285	36	-0.241	2.25E+07	362.0084	-0.309	1.92E+07	I	0.000	0.00	6	d7s2	*5L	27615.795	3.42	6		
362.2288	13	-0.629	7.96E+06	362.2038	-0.940	3.89E+06	I	0.000	0.00	6	d7s2	*5L	27600.893	3.42	7		
362.2952	29	0.306	7.92E+07	362.2699	0.214	6.40E+07	I	4275.707	0.53	6	d7s2	*5K	31871.569	3.95	6		
362.3305	44	-0.879	5.60E+06	362.3057	-1.002	4.21E+06	II	914.758	0.11	4.5	f3d2	*6K	28507.889	3.53	5.5		
363.4793	8	-0.308	2.76E+07	363.4552	-0.269	3.02E+07	I	3868.486	0.48	3	d7s2	*5H	31374.352	3.89	4		
363.5507	15	-0.080	2.80E+07	363.5295	-0.181	2.22E+07	I	3800.829	0.47	7	d7s2	*5L	31301.073	3.88	7		
363.5612	11	-1.663	9.13E+05	363.5410	-1.536	1.22E+06	II	0.000	0.00	4.5	f3s2	*4I	27499.379	3.41	5.5		
363.7718	9	0.042	6.17E+07	363.7510	-0.011	5.46E+07	I	5991.313	0.74	4	d7s2	*3H	33474.813	4.15	4		
363.8381	32	0.237	5.12E+07	363.8198	0.566	1.09E+08	I	3800.829	0.47	7	d7s2	*5L	31279.129	3.88	8		
363.8816	9	0.298	6.66E+07	363.8651	0.249	5.96E+07	I	8118.632	1.01	7	d27s	*5M	35593.516	4.41	7		
364.1151	33	-0.879	5.54E+06	364.0945	-1.121	3.17E+06	II	1749.123	0.22	6.5	f3d2	*6L	29206.695	3.62	5.5		
364.2680	17	0.080	4.03E+07	364.2428	-0.098	2.67E+07	I	4275.707	0.53	6	d7s2	*5K	31722.102	3.93	7		
364.4511	35	-0.123	2.91E+07	364.4242	-0.128	2.88E+07	I	620.323	0.08	5	d7s2	*5K	28053.057	3.48	6		
364.5311	25	-1.132	3.70E+06	364.5029	-1.115	3.85E+06	II	914.758	0.11	4.5	f3d2	*6K	28341.568	3.51	4.5		
364.9795	12	0.077	4.60E+07	364.9566	-9.999	3.86E-03	I	5762.078	0.71	5	d7s2	*3I	33154.788	4.11	6		
365.1812	14	-0.119	2.24E+07	365.1537	0.454	8.37E+07	I	3800.829	0.47	7	d7s2	*5L	31178.759	3.87	8		
365.2351	35	0.337	8.36E+07	365.2064	0.382	9.27E+07	I	4275.707	0.53	6	d7s2	*5K	31649.685	3.92	6		
365.3490	15	-0.074	2.81E+07	365.3208	-0.221	2.00E+07	I	3800.829	0.47	7	d7s2	*5L	31166.233	3.86	7		
365.5157	16	-0.056	4.88E+07	365.4900	-0.213	3.40E+07	I	3868.486	0.48	3	d7s2	*5H	31221.221	3.87	4		
365.9229	16	-0.763	1.08E+07	365.9007	-0.919	7.50E+06	II	4706.277	0.58	2.5	f3ds	*6H	32028.316	3.97	3.5		
365.9375	35	-0.158	2.66E+07	365.9155	0.222	6.39E+07	I	620.323	0.08	5	d7s2	*5K	27941.253	3.46	6		
365.9792	21	-0.395	1.82E+07	365.9584	-0.530	1.34E+07	I	620.323	0.08	5	d7s2	*5K	27938.049	3.46	5		
366.2538	21	-0.669	1.33E+07	366.2329	-0.952	6.94E+06	II	4663.803	0.58	3.5	f4s	6I	31961.057	3.96	3.5 f4p*		
366.6486	19	-0.128	2.64E+07	366.6232	-0.455	1.24E+07	II	8521.928	1.06	7.5	f3ds	*6K	35790.125	4.44	6.5		
366.7402	11	-0.732	7.07E+06	366.7125	-0.840	5.51E+06	I	0.000	0.00	6	d7s2	*5L	27261.553	3.38	6		
366.9468	13	0.120	7.26E+07	366.9167	-0.056	4.84E+07	I	5762.078	0.71	5	d7s2	*3I	33008.464	4.09	4		
367.0373	81	-0.648	9.27E+06	367.0068	-0.173	2.77E+07	II	914.758	0.11	4.5	f3d2	*6K	28154.451	3.49	5.5 f3dp6L		
367.0835	20	0.618	1.08E+08	367.0528	0.475	7.77E+07	I	7645.645	0.95	8	d7s2	*5L	34881.927	4.33	9 7M		
367.4416	12	-0.623	1.31E+07	367.4127	-0.490	1.78E+07	I	620.323	0.08	5	d7s2	*5K	27829.925	3.45	4		
367.5260	8	-0.851	6.96E+06	367.4993	-0.666	1.07E+07	II	6445.033	0.80	4.5	f3ds	*4I	33648.224	4.17	4.5		
367.5368	12	-0.885	4.02E+06	367.5084	-0.812	4.76E+06	II	5259.653	0.65	7.5	f3ds	*6L	32462.170	4.03	7.5		
367.6831	14	-0.620	8.45E+06	367.6562	-0.551	9.91E+06	II	6283.434	0.78	6.5	f3ds	*4L	33475.012	4.15	6.5		
367.7644	17	-0.042	2.63E+07	367.7389	0.035	3.14E+07	I	3800.829	0.47	7	d7s2	*5L	30986.297	3.84	8		
367.9624	18	-0.490	1.45E+07	367.9371	-0.391	1.82E+07	I	620.323	0.08	5	d7s2	*5K	27791.142	3.45	5		
368.1123	13	-0.094	2.64E+07	368.0878	0.056	3.73E+07	I	4275.707	0.53	6	d7s2	*5K	31435.402	3.90	7 5K		
368.2257	11	-0.936	4.07E+06	368.2035	-0.733	6.50E+06	II	5259.653	0.65	7.5	f3ds	*6L	32410.818	4.02	6.5		

Measurement				CfA DataBase															
Wave length	Int	log(gf)	A	Wave length	log(gf)	A	I o n	Lower Energy Level					Upper Energy Level						
								nm	1/s	nm	1/s	1/cm	eV	J	Conf	1/cm	eV	J	Conf
368.2654	11	-0.824	5.68E+06	368.2457	-0.703	7.49E+06	I	0.000	0.00	6	d7s2	*5L	27148.053	3.37	6				
368.6010	33	-0.288	1.95E+07	368.5774	-0.599	9.50E+06	I	620.323	0.08	5	d7s2	*5K	27743.944	3.44	6				
369.2237	24	-0.646	1.38E+07	369.1918	-0.435	2.25E+07	II	4706.277	0.58	2.5	f3ds	*6H	31784.762	3.94	3.5				
369.4007	19	-0.305	2.42E+07	369.3696	-0.302	2.44E+07	II	7547.368	0.94	3.5	f3ds	*	34612.820	4.29	4.5				
369.7423	14	-0.111	2.22E+07	369.7127	-0.112	2.22E+07	I	3800.829	0.47	7	d7s2	*5L	30841.163	3.82	8				
369.8225	14	-0.227	2.07E+07	369.7927	-0.332	1.62E+07	II	8755.640	1.09	6.5	f3ds	*	35790.125	4.44	6.5				
370.0832	27	-1.166	2.77E+06	370.0571	-0.904	5.06E+06	II	914.758	0.11	4.5	f3d2	*6K	27929.928	3.46	5.5				
370.1773	35	-0.365	1.50E+07	370.1516	-0.031	3.24E+07	II	5526.750	0.69	6.5	f3ds	*6K	32535.023	4.03	6.5				
370.2858	11	-0.169	2.20E+07	370.2613	0.026	3.44E+07	I	4275.707	0.53	6	d7s2	*5K	31275.978	3.88	7				
370.3515	13	-0.676	7.88E+06	370.3271	-0.422	1.42E+07	I	620.323	0.08	5	d7s2	*5K	27615.795	3.42	6				
370.4318	11	0.252	5.11E+07	370.4085	0.399	7.16E+07	I	7326.118	0.91	7	d7s2	*5K	34315.658	4.25	8				
370.7609	16	-0.051	2.54E+07	370.7285	-0.035	2.63E+07	I	3800.829	0.47	7	d7s2	*5L	30767.077	3.81	8	*			
370.8183	13	-0.145	4.96E+07	370.7950	-0.347	3.12E+07	I	3868.486	0.48	3	d7s2	*5H	30829.894	3.82	3				
371.0147	14	0.149	5.25E+07	370.9864	-0.116	2.85E+07	I	5762.078	0.71	5	d7s2	*3I	32709.579	4.06	6				
371.3874	11	-0.763	7.59E+06	371.3554	-0.322	2.09E+07	I	0.000	0.00	6	d7s2	*5L	26920.722	3.34	5				
371.3963	12	-0.861	4.17E+06	371.3648	-0.567	8.19E+06	II	5259.653	0.65	7.5	f3ds	*6L	32179.693	3.99	7.5				
371.5082	17	-1.143	2.90E+06	371.4757	-1.113	3.10E+06	II	2294.692	0.28	5.5	f3d2	*6K	29206.695	3.62	5.5				
371.5794	19	0.044	4.86E+07	371.5464	0.019	4.59E+07	I	4275.707	0.53	6	d7s2	*5K	31182.594	3.87	5				
371.6461	15	-0.079	2.37E+07	371.6135	-0.360	1.24E+07	I	3800.829	0.47	7	d7s2	*5L	30702.853	3.81	8	7L			
371.8428	23	-1.150	2.44E+06	371.8106	-1.000	3.44E+06	II	1749.123	0.22	6.5	f3d2	*6L	28636.887	3.55	6.5				
371.8934	16	-0.747	6.16E+06	371.8617	-0.877	4.57E+06	II	5526.750	0.69	6.5	f3ds	*6K	32410.818	4.02	6.5				
371.9614	15	-0.579	9.78E+06	371.9289	-0.751	6.58E+06	I	620.323	0.08	5	d7s2	*5K	27499.537	3.41	6				
372.0685	13	-0.202	2.33E+07	372.0396	-0.042	3.36E+07	I	3800.829	0.47	7	d7s2	*5L	30672.044	3.80	6				
372.2963	15	0.371	1.61E+08	372.2675	0.372	1.62E+08	I	7191.682	0.89	2	d7s2	*5G	34046.448	4.22	3				
372.5241	13	-1.398	1.60E+06	372.4983	-1.003	3.98E+06	II	1749.123	0.22	6.5	f3d2	*6L	28587.252	3.54	5.5				
373.1710	55	-0.126	2.76E+07	373.1444	-0.897	4.67E+06	I	0.000	0.00	6	d7s2	*5L	26791.657	3.32	6				
373.2032	21	0.577	9.51E+07	373.1765	-9.999	2.53E-03	I	7645.645	0.95	8	d7s2	*5L	34434.999	4.27	9				
373.2537	26	0.126	4.27E+07	373.2254	-0.048	2.86E+07	I	3800.829	0.47	7	d7s2	*5L	30586.672	3.79	7				
373.2903	33	-1.086	3.93E+06	373.2615	-1.110	3.71E+06	II	914.758	0.11	4.5	f3d2	*6K	27698.008	3.43	4.5				
373.3886	22	0.413	8.26E+07	373.3591	0.251	5.68E+07	I	6249.029	0.77	6	d27s	*7M	33025.282	4.09	7				
373.8384	41	-0.290	1.75E+07	373.8040	-0.281	1.78E+07	II	5790.641	0.72	5.5	f3ds	*4K	32535.023	4.03	6.5				
374.2671	15	0.332	6.82E+07	374.2349	0.256	5.72E+07	I	7005.532	0.87	6	d7s2	*3K	33719.124	4.18	7				
374.6688	20	-0.627	8.02E+06	374.6420	-0.264	1.85E+07	II	5526.750	0.69	6.5	f3ds	*6K	32211.314	3.99	6.5				
374.7401	13	-0.352	1.32E+07	374.7141	-0.185	1.94E+07	II	8521.928	1.06	7.5	f3ds	*6K	35201.359	4.36	7.5				
374.8928	32	-0.384	2.45E+07	374.8676	-0.096	4.75E+07	II	5716.448	0.71	4.5	f4s	6I	32384.955	4.02	3.5	f4p*			
375.1386	31	0.500	1.15E+08	375.1174	0.598	1.44E+08	I	5762.078	0.71	5	d7s2	*3I	32412.825	4.02	6				
375.1924	23	-0.387	1.77E+07	375.1708	-0.430	1.60E+07	I	620.323	0.08	5	d7s2	*5K	27267.277	3.38	5				
375.2905	24	-0.525	1.18E+07	375.2663	-0.555	1.10E+07	II	5526.750	0.69	6.5	f3ds	*6K	32166.920	3.99	5.5				
375.4577	18	-1.496	1.26E+06	375.4308	-1.499	1.25E+06	II	0.000	0.00	4.5	f3s2	*4I	26628.500	3.30	5.5				
375.5871	12	-0.793	5.45E+06	375.5482	-0.524	1.01E+07	II	5790.641	0.72	5.5	f3ds	*4K	32410.818	4.02	6.5				
375.7250	17	-0.792	1.27E+07	375.6921	-0.822	1.19E+07	II	4706.277	0.58	2.5	f3ds	*6H	31316.258	3.88	2.5				
375.8689	14	-0.062	3.15E+07	375.8348	0.325	7.67E+07	I	4275.707	0.53	6	d7s2	*5K	30875.583	3.83	6	d27p7M			
376.1229	22	-1.434	1.73E+06	376.0887	-1.401	1.87E+06	II	0.000	0.00	4.5	f3s2	*4I	26581.916	3.30	4.5				
376.2445	18	-1.235	2.29E+06	376.2116	-1.363	1.70E+06	II	1749.123	0.22	6.5	f3d2	*6L	28322.361	3.51	5.5				
376.3587	22	0.497	9.86E+07	376.3264	0.485	9.59E+07	I	7005.532	0.87	6	d7s2	*3K	33570.663	4.16	7	d27p5M			
376.5680	19	-0.601	9.07E+06	376.5348	-0.462	1.25E+07	I	0.000	0.00	6	d7s2	*5L	26550.427	3.29	6				
376.7204	20	0.048	4.77E+07	376.6886	0.285	8.23E+07	I	4453.419	0.55	4	d7s2	*5I	30993.006	3.84	5				
376.9090	12	-0.826	5.01E+06	376.8795	-0.695	6.77E+06	II	5790.641	0.72	5.5	f3ds	*4K	32316.787	4.01	6.5				
377.3054	11	-0.455	1.64E+07	377.2812	-0.485	1.53E+07	II	8347.690	1.04	5.5	f4s	6I	34845.588	4.32	4.5	*			
377.3676	14	0.205	6.83E+07	377.3434	0.601	1.70E+08	I	6249.029	0.77	6	d27s	*7M	32742.564	4.06	5				
377.6696	12	-0.122	2.36E+07	377.6477	0.102	3.94E+07	I	4275.707	0.53	6	d7s2	*5K	30747.894	3.81	7				
378.0921	19	-1.376	1.64E+06	378.0714	-1.099	3.09E+06	II	914.758	0.11	4.5	f3d2	*6K	27357.275	3.39	5.5				
378.1954	9	0.115	3.20E+07	378.1744	0.114	3.19E+07	I	7645.645	0.95	8	d7s2	*5L	34080.966	4.23	9				
378.3195	100	-0.875	4.44E+06	378.2841	-0.478	1.11E+07	II	289.036	0.04	5.5	f3d2	*6L	26716.691	3.31	6.5				
378.4198	23	-0.438	1.21E+07	378.3840	-0.450	1.18E+07	II	5790.641	0.72	5.5	f3ds	*4K	32211.314	3.99	6.5				

Measurement				CfA DataBase													
Wave length	Int	log(gf)	A	Wave length	log(gf)	A	I o n	Lower Energy Level					Upper Energy Level				
				nm	1/s	nm	1/s	1/cm	eV	J	Conf	1/cm	eV	J	Conf		
378.6935	11	-0.357	1.46E+07	378.6568	-0.671	7.08E+06	II	8521.928	1.06	7.5	f3ds	*6K	34923.570	4.33	6.5		
378.7182	17	0.300	8.44E+07	378.6826	0.242	7.38E+07	I	6249.029	0.77	6	d27s	*7M	32648.874	4.05	5		
378.7586	11	-0.942	3.32E+06	378.7235	-0.871	3.91E+06	II	5259.653	0.65	7.5	f3ds	*6L	31656.644	3.93	7.5		
378.8504	15	0.163	6.15E+07	378.8161	0.108	5.42E+07	I	5991.313	0.74	4	d7s2	*3H	32381.851	4.02	5		
379.0530	12	-0.818	5.88E+06	379.0209	-1.007	3.81E+06	II	5790.641	0.72	5.5	f3ds	*4K	32166.920	3.99	5.5		
379.0663	19	-1.371	2.47E+06	379.0323	-1.605	1.44E+06	II	914.758	0.11	4.5	f3d2	*6K	27290.244	3.38	3.5		
379.2714	11	-0.242	2.04E+07	379.2412	-0.304	1.77E+07	I	4275.707	0.53	6	d7s2	*5K	30636.668	3.80	6		
379.3394	25	-0.719	5.53E+06	379.3100	-0.480	9.59E+06	II	4585.431	0.57	6.5	f3d2	*6M	30941.607	3.84	7.5		
379.3569	24	0.378	1.01E+08	379.3263	0.438	1.16E+08	I	6249.029	0.77	6	d27s	*7M	32604.071	4.04	5		
379.3853	19	-1.407	1.51E+06	379.3569	-1.106	3.02E+06	II	914.758	0.11	4.5	f3d2	*6K	27267.676	3.38	5.5		
379.5400	17	-1.255	1.84E+06	379.5113	-1.175	2.21E+06	II	2294.692	0.28	5.5	f3d2	*6K	28636.887	3.55	6.5		
379.6461	10	-0.324	2.44E+07	379.6185	-0.055	4.53E+07	I	3868.486	0.48	3	d7s2	*5H	30203.245	3.74	4		
379.6785	14	-0.967	4.99E+06	379.6530	-0.847	6.58E+06	II	4663.803	0.58	3.5	f4s	6I	30996.170	3.84	4.5		
379.7087	9	-0.884	6.04E+06	379.6843	-0.629	1.09E+07	II	6445.033	0.80	4.5	f3ds	*4I	32775.230	4.06	4.5		
379.8012	10	0.704	1.23E+08	379.7767	0.755	1.38E+08	I	11308.153	1.40	9	d7s2	*5L	37631.940	4.67	9		
379.9061	12	0.791	1.36E+08	379.8829	0.855	1.58E+08	I	11308.153	1.40	9	d7s2	*5L	37624.585	4.67	10		
379.9447	22	-0.215	2.01E+07	379.9197	-0.392	1.34E+07	II	8394.362	1.04	7.5	f3d2	*6M	34708.242	4.30	6.5		
380.1424	24	-0.425	1.58E+07	380.1145	-0.455	1.47E+07	I	620.323	0.08	5	d7s2	*5K	26920.722	3.34	5		
380.2547	21	-1.103	3.03E+06	380.2278	-1.141	2.78E+06	II	2294.692	0.28	5.5	f3d2	*6K	28587.252	3.54	5.5		
380.3666	16	-1.607	9.50E+05	380.3346	-1.723	7.27E+05	II	0.000	0.00	4.5	f3s2	*4I	26285.176	3.26	5.5		
380.9302	21	0.305	8.44E+07	380.8921	0.430	1.12E+08	I	6249.029	0.77	6	d27s	*7M	32495.734	4.03	5		
380.9597	25	-0.565	1.56E+07	380.9225	-0.525	1.71E+07	II	5716.448	0.71	4.5	f4s	6I	31961.057	3.96	3.5		
381.0459	9	-0.349	2.29E+07	381.0095	-0.464	1.75E+07	I	3868.486	0.48	3	d7s2	*5H	30107.101	3.73	4		
381.2355	46	-0.250	1.98E+07	381.1991	0.362	8.12E+07	I	0.000	0.00	6	d7s2	*5L	26225.569	3.25	6		
381.4124	25	-1.085	3.14E+06	381.3790	-0.947	4.32E+06	II	2294.692	0.28	5.5	f3d2	*6K	28507.889	3.53	5.5		
381.4414	26	-1.305	2.27E+06	381.4063	-1.116	3.51E+06	II	914.758	0.11	4.5	f3d2	*6K	27126.080	3.36	4.5		
381.8326	11	-0.033	3.85E+07	381.8058	-0.010	4.06E+07	I	5762.078	0.71	5	d7s2	*3I	31945.975	3.96	5		
381.8764	9	-1.577	8.66E+05	381.8463	-1.517	9.93E+05	II	1749.123	0.22	6.5	f3d2	*6L	27930.242	3.46	6.5		
382.2195	15	-0.208	1.89E+07	382.1947	-0.076	2.55E+07	I	3800.829	0.47	7	d7s2	*5L	29958.084	3.71	7		
382.2626	9	0.487	9.33E+07	382.2344	0.425	8.09E+07	I	10347.344	1.28	8	d27s	*7M	36501.878	4.53	7		
382.2776	10	-1.131	4.22E+06	382.2543	-1.156	3.98E+06	II	4706.277	0.58	2.5	f3ds	*6H	30859.449	3.83	3.5		
382.6829	41	-1.161	2.25E+06	382.6507	-0.904	4.06E+06	II	289.036	0.04	5.5	f3d2	*6L	26415.115	3.28	6.5		
382.9375	21	-1.356	2.00E+06	382.9020	-1.323	2.16E+06	II	914.758	0.11	4.5	f3d2	*6K	27023.691	3.35	4.5		
382.9747	13	-1.048	3.39E+06	382.9370	-0.975	4.01E+06	II	4585.431	0.57	6.5	f3d2	*6M	30691.978	3.81	5.5		
383.0164	17	-0.694	7.08E+06	382.9794	-0.846	4.98E+06	I	0.000	0.00	6	d7s2	*5L	26103.662	3.24	6		
383.1827	55	-0.371	1.93E+07	383.1460	0.056	5.17E+07	II	4663.803	0.58	3.5	f4s	6I	30756.109	3.81	4.5		
383.2218	18	-0.032	2.81E+07	383.1851	-0.023	2.87E+07	I	4275.707	0.53	6	d7s2	*5K	30365.353	3.77	7		
383.5598	19	-0.629	9.68E+06	383.5224	-0.849	5.83E+06	I	0.000	0.00	6	d7s2	*5L	26066.702	3.23	5		
383.6278	13	-0.604	9.40E+06	383.5914	-0.587	9.77E+06	II	7598.356	0.94	5.5	f3ds	*	33660.367	4.17	5.5		
383.8485	16	-1.257	2.50E+06	383.8143	-1.238	2.62E+06	II	2294.692	0.28	5.5	f3d2	*6K	28341.568	3.51	4.5		
383.9938	39	0.223	5.04E+07	383.9627	0.614	1.24E+08	I	3800.829	0.47	7	d7s2	*5L	29837.643	3.70	7		
384.5378	9	-1.014	3.64E+06	384.5118	-1.067	3.22E+06	II	5526.750	0.69	6.5	f3ds	*6K	31526.381	3.91	5.5		
384.6465	8	-0.007	3.42E+07	384.6234	0.004	3.50E+07	I	7005.532	0.87	6	d7s2	*3K	32997.618	4.09	6		
384.6789	10	-0.357	1.32E+07	384.6553	-0.088	2.45E+07	I	3800.829	0.47	7	d7s2	*5L	29790.757	3.69	7		
384.8084	6	-0.101	5.10E+07	384.7833	0.227	1.09E+08	I	7020.710	0.87	4	7s2	5I	33001.993	4.09	3		
384.8857	11	-1.022	2.68E+06	384.8604	-0.490	9.10E+06	II	5259.653	0.65	7.5	f3ds	*6L	31235.734	3.87	7.5		
385.0075	13	-1.708	1.10E+06	384.9847	-1.524	1.68E+06	II	0.000	0.00	4.5	f3s2	*4I	25967.693	3.22	3.5		
385.4605	40	-0.263	1.89E+07	385.4220	-0.145	2.47E+07	I	0.000	0.00	6	d7s2	*5L	25938.232	3.22	6		
385.5025	63	-0.264	2.45E+07	385.4640	0.124	5.97E+07	II	4663.803	0.58	3.5	f4s	6I	30599.208	3.79	4.5		
385.9956	90	-0.856	4.45E+06	385.9571	-0.105	2.51E+07	II	289.036	0.04	5.5	f3d2	*6L	26191.307	3.25	6.5		
386.3445	11	-0.334	2.96E+07	386.3093	-0.389	2.61E+07	I	3868.486	0.48	3	d7s2	*5H	29747.139	3.69	3		
386.4792	11	-1.102	3.53E+06	386.4467	-0.881	5.87E+06	II	4663.803	0.58	3.5	f4s	6I	30533.258	3.79	4.5		
386.6219	51	-0.772	6.29E+06	386.5916	-0.273	1.98E+07	II	2294.692	0.28	5.5	f3d2	*6K	28154.451	3.49	5.5		
386.7462	13	0.208	1.03E+08	386.7172	0.296	1.26E+08	I	7020.710	0.87	4	7s2	5I	32872.074	4.08	3		
387.1279	33	-0.438	1.25E+07	387.1035	0.230	5.81E+07	I	0.000	0.00	6	d7s2	*5L	25825.565	3.20	6		

Measurement				CfA DataBase													
Wave length	Int	log(gf)	A	Wave length	log(gf)	A	I o n	Lower Energy Level					Upper Energy Level				
				nm	1/s	nm	1/s	1/cm	eV	J	Conf	1/cm	eV	J	Conf		
387.4262	28	-1.449	1.13E+06	387.4037	-1.009	3.11E+06	II	289.036	0.04	5.5	f3d2	*6L	26094.588	3.24	6.5		
387.6356	18	-0.833	5.02E+06	387.6133	-0.568	9.23E+06	I	0.000	0.00	6	d7s2	*5L	25791.600	3.20	6		
387.8465	29	-0.037	2.26E+07	387.8084	0.038	2.69E+07	II	8853.743	1.10	8.5	f3ds	*6L	34632.363	4.29	8.5		
388.0106	16	0.246	8.67E+07	387.9711	0.290	9.60E+07	I	7020.710	0.87	4	7s2	5I	32788.523	4.07	4 *		
388.1852	38	-0.569	7.46E+06	388.1454	-0.279	1.46E+07	II	4585.431	0.57	6.5	f3d2	*6M	30341.670	3.76	7.5 f3dp6M		
388.2733	28	-1.159	2.56E+06	388.2356	-0.937	4.26E+06	II	1749.123	0.22	6.5	f3d2	*6L	27499.379	3.41	5.5		
388.3495	12	-0.914	4.91E+06	388.3111	-0.571	1.08E+07	I	0.000	0.00	6	d7s2	*5L	25745.248	3.19	5		
389.0678	54	-1.123	2.37E+06	389.0361	-0.467	1.07E+07	II	289.036	0.04	5.5	f3d2	*6L	25986.311	3.22	6.5		
389.1973	10	-0.565	1.00E+07	389.1685	-0.724	6.93E+06	II	8510.866	1.06	5.5	f3ds	*	34199.398	4.24	5.5		
389.2085	15	0.232	8.35E+07	389.1802	0.285	9.43E+07	I	7020.710	0.87	4	7s2	5I	32708.468	4.06	4 *		
389.2974	27	-0.651	6.15E+06	389.2682	-0.409	1.07E+07	II	5259.653	0.65	7.5	f3ds	*6L	30941.607	3.84	7.5		
389.4389	25	-0.546	8.35E+06	389.4121	-0.267	1.59E+07	I	0.000	0.00	6	d7s2	*5L	25672.465	3.18	7		
389.5533	12	-1.125	2.75E+06	389.5270	-1.005	3.62E+06	II	4420.872	0.55	5.5	f3s2	*4I	30085.762	3.73	5.5		
389.7019	20	-0.866	4.98E+06	389.6775	-0.596	9.27E+06	II	4585.431	0.57	6.5	f3d2	*6M	30240.410	3.75	5.5		
389.7498	10	0.032	6.75E+07	389.7258	0.181	9.51E+07	I	7020.710	0.87	4	7s2	5I	32672.510	4.05	3 *		
389.9490	11	-0.281	1.76E+07	389.9270	-0.055	2.97E+07	I	4275.707	0.53	6	d7s2	*5K	29914.267	3.71	6		
389.9706	17	-0.965	4.75E+06	389.9472	-0.898	5.55E+06	II	4663.803	0.58	3.5	f4s	6I	30301.038	3.76	4.5 f4p*		
390.0007	27	-1.104	2.46E+06	389.9728	-0.776	5.24E+06	II	2294.692	0.28	5.5	f3d2	*6K	27930.242	3.46	6.5		
390.2936	33	-1.265	2.38E+06	390.2550	-1.203	2.74E+06	II	289.036	0.04	5.5	f3d2	*6L	25906.051	3.21	4.5		
390.4684	24	-0.179	2.42E+07	390.4295	-0.166	2.49E+07	II	8347.690	1.04	5.5	f4s	6I	33953.253	4.21	5.5 f4p*		
390.4943	19	-0.771	5.29E+06	390.4563	-0.827	4.65E+06	II	5259.653	0.65	7.5	f3ds	*6L	30863.463	3.83	6.5		
390.6911	14	-0.229	2.87E+07	390.6453	0.091	5.99E+07	I	3868.486	0.48	3	d7s2	*5H	29459.907	3.65	4		
390.8702	15	-0.169	2.69E+07	390.8308	-0.339	1.82E+07	I	4453.419	0.55	4	d7s2	*5I	30032.694	3.72	5		
390.9443	13	-0.893	5.58E+06	390.9061	-1.065	3.76E+06	II	5790.641	0.72	5.5	f3ds	*4K	31364.986	3.89	4.5		
391.1262	13	0.132	6.56E+07	391.0885	0.276	9.14E+07	I	7020.710	0.87	4	7s2	5I	32583.128	4.04	4 *		
391.2041	15	-1.056	2.74E+06	391.1673	-0.795	4.99E+06	II	4420.872	0.55	5.5	f3s2	*4I	29978.143	3.72	6.5		
391.6192	16	-0.386	1.49E+07	391.5877	-0.245	2.06E+07	II	8423.418	1.04	4.5	f4s	4I	33953.253	4.21	5.5 f4p*		
391.6821	11	0.085	7.55E+07	391.6521	-0.028	5.82E+07	I	7020.710	0.87	4	7s2	5I	32546.346	4.04	3 *		
391.7560	12	0.274	6.28E+07	391.7243	0.407	8.53E+07	I	8118.632	1.01	7	d27s	*5M	33639.562	4.17	6 ds8s7M		
392.1791	14	-1.777	6.03E+05	392.1548	-1.581	9.48E+05	II	0.000	0.00	4.5	f3s2	*4I	25492.918	3.16	5.5		
392.4497	11	-1.187	2.35E+06	392.4260	-1.020	3.45E+06	II	4585.431	0.57	6.5	f3d2	*6M	30060.730	3.73	5.5		
392.6462	22	-0.783	5.48E+06	392.6208	-0.453	1.17E+07	I	0.000	0.00	6	d7s2	*5L	25462.661	3.16	6		
392.6956	19	0.134	6.54E+07	392.6715	0.407	1.23E+08	I	7020.710	0.87	4	7s2	5I	32480.079	4.03	4 *		
392.8005	17	-0.919	3.73E+06	392.7759	-0.712	5.99E+06	II	6283.434	0.78	6.5	f3ds	*4L	31736.041	3.94	6.5		
392.9091	14	-1.139	2.09E+06	392.8824	-0.894	3.68E+06	I	0.000	0.00	6	d7s2	*5L	25445.702	3.16	7		
393.0808	14	-0.266	1.80E+07	393.0440	-0.304	1.65E+07	I	3800.829	0.47	7	d7s2	*5L	29236.074	3.63	6		
393.1375	20	-1.571	8.27E+05	393.0977	-1.195	1.97E+06	II	289.036	0.04	5.5	f3d2	*6L	25720.801	3.19	6.5		
393.2409	75	-0.972	3.28E+06	393.2021	-0.528	9.13E+06	II	289.036	0.04	5.5	f3d2	*6L	25714.049	3.19	6.5 f3sp?		
393.3416	15	-0.943	3.07E+06	393.3027	-1.141	1.95E+06	II	5259.653	0.65	7.5	f3ds	*6L	30678.168	3.80	7.5		
393.5766	36	-1.004	4.26E+06	393.5380	-0.895	5.48E+06	II	2294.692	0.28	5.5	f3d2	*6K	27698.008	3.43	4.5		
394.0810	18	-1.535	1.04E+06	394.0483	-1.238	2.07E+06	II	914.758	0.11	4.5	f3d2	*6K	26285.176	3.26	5.5		
394.2844	10	-0.565	8.35E+06	394.2543	-0.518	9.29E+06	II	8755.640	1.09	6.5	f3ds	*	34112.801	4.23	6.5		
394.3114	13	-0.942	4.09E+06	394.2840	-0.780	5.93E+06	II	5790.641	0.72	5.5	f3ds	*4K	31145.894	3.86	5.5		
394.4101	42	-0.404	1.30E+07	394.3816	0.099	4.14E+07	I	0.000	0.00	6	d7s2	*5L	25348.977	3.14	6		
394.4414	18	-0.964	2.91E+06	394.4130	-0.928	3.16E+06	II	4585.431	0.57	6.5	f3d2	*6M	29932.393	3.71	7.5		
394.8666	14	-0.946	4.40E+06	394.8443	-0.505	1.22E+07	I	0.000	0.00	6	d7s2	*5L	25319.274	3.14	5		
395.1837	11	-0.342	1.77E+07	395.1474	-0.460	1.35E+07	I	4453.419	0.55	4	d7s2	*5I	29753.274	3.69	5		
395.2826	10	-1.060	3.10E+06	395.2546	-1.187	2.31E+06	II	5790.641	0.72	5.5	f3ds	*4K	31083.633	3.85	5.5		
395.3955	20	-1.265	1.66E+06	395.3575	-1.116	2.33E+06	II	2294.692	0.28	5.5	f3d2	*6K	27581.102	3.42	6.5		
395.5056	28	-0.185	2.32E+07	395.4667	-0.120	2.70E+07	II	8347.690	1.04	5.5	f4s	6I	33627.116	4.17	5.5 f4p*		
395.9601	12	0.116	3.70E+07	395.9206	-0.049	2.53E+07	I	7005.532	0.87	6	d7s2	*3K	32255.979	4.00	7		
396.4460	8	-0.191	2.10E+07	396.4207	0.321	6.83E+07	I	6249.029	0.77	6	d27s	*7M	31467.623	3.90	6		
396.5012	10	-0.817	6.47E+06	396.4664	-0.621	1.02E+07	II	7166.632	0.89	4.5	f3ds	*6I	32382.314	4.02	4.5		
396.5310	10	-1.933	6.19E+05	396.4961	-1.675	1.12E+06	II	0.000	0.00	4.5	f3s2	*4I	25213.795	3.13	3.5		
396.6865	33	-0.107	2.76E+07	396.6549	-0.070	3.01E+07	II	8423.418	1.04	4.5	f4s	4I	33627.116	4.17	5.5 f4p*		

Measurement				CfA DataBase													
Wave length	Int	log(gf)	A	Wave length	log(gf)	A	I o n	Lower Energy Level					Upper Energy Level				
				nm	1/s	nm	1/s	1/cm	eV	J	Conf	1/cm	eV	J	Conf		
396.7776	10	-0.912	5.76E+06	396.7463	-0.835	6.88E+06	I	620.323	0.08	5	d7s2	*5K	25818.220	3.20	4		
396.9315	11	-0.626	1.67E+07	396.9021	-0.773	1.19E+07	II	8400.126	1.04	1.5	f3ds	*6G	33588.129	4.16	2.5		
397.5197	6	-0.171	1.67E+07	397.4896	0.022	2.61E+07	I	7645.645	0.95	8	d7s2	*5L	32796.424	4.07	8		
398.1203	11	-0.133	2.39E+07	398.0795	-0.211	1.99E+07	I	5762.078	0.71	5	d7s2	*3I	30875.583	3.83	6		
398.6197	53	-0.434	9.66E+06	398.5793	-0.165	1.79E+07	II	5259.653	0.65	7.5	f3ds	*6L	30341.670	3.76	7.5		
398.9241	21	-1.297	1.76E+06	398.8884	-1.330	1.63E+06	II	2294.692	0.28	5.5	f3d2	*6K	27357.275	3.39	5.5		
399.0750	30	-1.326	2.47E+06	399.0420	-1.116	4.01E+06	II	914.758	0.11	4.5	f3d2	*6K	25967.693	3.22	3.5		
399.2846	20	-0.766	7.18E+06	399.2535	-0.612	1.02E+07	II	5716.448	0.71	4.5	f4s	6I	30756.109	3.81	4.5		
399.4584	10	-1.852	5.88E+05	399.4291	-1.778	6.97E+05	II	289.036	0.04	5.5	f3d2	*6L	25317.693	3.14	4.5		
399.7347	8	-0.073	2.35E+07	399.7081	-0.066	2.39E+07	I	7005.532	0.87	6	d7s2	*3K	32016.715	3.97	7		
399.8492	12	-0.108	2.32E+07	399.8241	0.045	3.30E+07	II	11389.464	1.41	5.5	f4s	4I	36393.395	4.51	6.5		
399.9431	10	-0.494	8.91E+06	399.9180	-0.460	9.64E+06	I	3800.829	0.47	7	d7s2	*5L	28798.886	3.57	7		
400.1615	12	0.145	5.29E+07	400.1280	-0.066	3.25E+07	I	7020.710	0.87	4	7s2	5I	32005.648	3.97	5		
400.2698	16	-0.966	5.62E+06	400.2339	-1.240	2.99E+06	II	4706.277	0.58	2.5	f3ds	*6H	29684.607	3.68	3.5		
400.3557	15	-1.390	1.41E+06	400.3195	-1.536	1.01E+06	II	2294.692	0.28	5.5	f3d2	*6K	27267.676	3.38	5.5		
400.4438	30	-1.176	1.98E+06	400.4064	-1.138	2.16E+06	II	1749.123	0.22	6.5	f3d2	*6L	26716.691	3.31	6.5		
400.5608	31	-0.431	1.19E+07	400.5209	-0.298	1.61E+07	I	620.323	0.08	5	d7s2	*5K	25580.751	3.17	6		
400.6094	26	-0.556	1.28E+07	400.5695	-0.653	1.03E+07	I	620.323	0.08	5	d7s2	*5K	25577.725	3.17	4		
400.9569	15	-0.815	5.30E+06	400.9169	-1.050	3.08E+06	II	6283.434	0.78	6.5	f3ds	*4L	31219.211	3.87	5.5		
401.1836	13	-1.030	4.84E+06	401.1449	-1.197	3.29E+06	II	5401.502	0.67	3.5	f3ds	*6I	30323.106	3.76	3.5		
401.8034	24	-0.677	8.69E+06	401.7711	-0.447	1.48E+07	II	5716.448	0.71	4.5	f4s	6I	30599.208	3.79	4.5		
401.9307	21	-1.599	7.43E+05	401.8986	-1.391	1.20E+06	II	289.036	0.04	5.5	f3d2	*6L	25163.904	3.12	6.5		
402.6265	31	-1.179	2.73E+06	402.6023	-1.722	7.80E+05	II	2294.692	0.28	5.5	f3d2	*6K	27126.080	3.36	4.5		
403.1676	18	-1.556	1.14E+06	403.1302	-1.593	1.05E+06	II	914.758	0.11	4.5	f3d2	*6K	25713.633	3.19	4.5		
403.3826	14	-1.111	2.65E+06	403.3425	-1.164	2.34E+06	II	4420.872	0.55	5.5	f3s2	*4I	29206.695	3.62	5.5		
403.4142	16	-0.623	9.76E+06	403.3728	-0.700	8.18E+06	II	7598.356	0.94	5.5	f3ds	*	32382.314	4.02	4.5		
403.4894	14	-0.244	2.12E+07	403.4497	-0.132	2.75E+07	I	4453.419	0.55	4	d7s2	*5I	29232.657	3.62	5		
404.0151	10	0.090	2.96E+07	403.9744	-0.241	1.38E+07	I	7645.645	0.95	8	d7s2	*5L	32392.697	4.02	8		
404.3104	34	-0.378	1.31E+07	404.2750	0.052	3.54E+07	I	620.323	0.08	5	d7s2	*5K	25348.977	3.14	6		
404.4743	24	-0.742	5.28E+06	404.4412	-0.554	8.13E+06	II	5259.653	0.65	7.5	f3ds	*6L	29978.143	3.72	6.5		
404.7896	23	-0.553	1.04E+07	404.7612	-0.337	1.70E+07	I	620.323	0.08	5	d7s2	*5K	25319.274	3.14	5		
405.0303	52	-1.280	2.14E+06	405.0041	-0.713	7.87E+06	II	0.000	0.00	4.5	f3s2	*4I	24684.135	3.06	4.5		
405.2166	28	-0.779	4.22E+06	405.1912	-0.541	7.30E+06	II	5259.653	0.65	7.5	f3ds	*6L	29932.393	3.71	7.5		
405.3250	15	-1.547	8.24E+05	405.3020	-1.448	1.03E+06	II	1749.123	0.22	6.5	f3d2	*6L	26415.115	3.28	6.5		
405.4530	14	-0.934	2.95E+06	405.4305	-0.671	5.41E+06	II	6283.434	0.78	6.5	f3ds	*4L	30941.607	3.84	7.5		
405.8510	24	-1.552	8.12E+05	405.8187	-1.251	1.62E+06	II	289.036	0.04	5.5	f3d2	*6L	24923.623	3.09	6.5		
406.1750	17	-0.731	5.78E+06	406.1347	-1.052	2.76E+06	I	620.323	0.08	5	d7s2	*5K	25235.745	3.13	6		
406.2165	10	-0.817	4.40E+06	406.1753	-0.949	3.25E+06	II	7598.356	0.94	5.5	f3ds	*	32211.314	3.99	6.5		
406.2943	64	-1.189	2.18E+06	406.2544	-0.978	3.54E+06	II	0.000	0.00	4.5	f3s2	*4I	24608.170	3.05	5.5		
406.4566	12	-0.130	2.72E+07	406.4170	-0.257	2.03E+07	I	5991.313	0.74	4	d7s2	*3H	30589.638	3.79	5		
406.8116	29	-0.547	9.53E+06	406.7748	-0.438	1.23E+07	II	6283.434	0.78	6.5	f3ds	*4L	30860.121	3.83	5.5		
407.4771	17	-1.458	1.17E+06	407.4485	-1.236	1.94E+06	II	1749.123	0.22	6.5	f3d2	*6L	26285.176	3.26	5.5		
407.6942	18	-1.543	1.15E+06	407.6685	-1.297	2.02E+06	II	914.758	0.11	4.5	f3d2	*6K	25437.566	3.15	4.5		
407.8043	19	0.265	6.71E+07	407.7785	0.164	5.32E+07	I	7020.710	0.87	4	7s2	5I	31536.907	3.91	5		
408.5304	14	-0.954	4.44E+06	408.4927	-0.943	4.56E+06	II	5790.641	0.72	5.5	f3ds	*4K	30263.975	3.75	4.5		
408.8645	25	-1.639	9.16E+05	408.8252	-1.501	1.26E+06	II	0.000	0.00	4.5	f3s2	*4I	24453.426	3.03	4.5		
409.0533	77	-0.866	3.88E+06	409.0133	-0.377	1.20E+07	II	1749.123	0.22	6.5	f3d2	*6L	26191.307	3.25	6.5		
409.1897	18	-0.250	1.25E+07	409.1494	-0.341	1.01E+07	II	10198.310	1.26	7.5	f3ds	*4L	34632.363	4.29	8.5		
409.2019	23	-0.726	5.76E+06	409.1627	-1.003	3.04E+06	I	0.000	0.00	6	d7s2	*5L	24433.260	3.03	6		
409.5255	13	-1.197	1.80E+06	409.4891	-1.491	9.17E+05	II	4420.872	0.55	5.5	f3s2	*4I	28834.656	3.58	6.5		
409.6093	14	-0.912	4.05E+06	409.5770	-0.824	4.97E+06	II	6283.434	0.78	6.5	f3ds	*4L	30691.978	3.81	5.5		
409.6715	20	0.208	5.84E+07	409.6350	0.157	5.18E+07	I	7020.710	0.87	4	7s2	5I	31425.797	3.90	5		
409.8356	32	-1.488	1.29E+06	409.8027	-1.239	2.29E+06	II	289.036	0.04	5.5	f3d2	*6L	24684.135	3.06	4.5		
410.2192	15	0.144	5.02E+07	410.1905	0.113	4.67E+07	I	7020.710	0.87	4	7s2	5I	31392.750	3.89	5		
410.3380	16	0.223	3.90E+07	410.3113	0.127	3.12E+07	I	7326.118	0.91	7	d7s2	*5K	31690.981	3.93	8		

Measurement				CfA DataBase													
Wave length	Int	log(gf)	A	Wave length	log(gf)	A	I o n	Lower Energy Level					Upper Energy Level				
				nm	1/s	nm	1/s	1/cm	eV	J	Conf	1/cm	eV	J	Conf		
410.7161	19	-1.685	1.02E+06	410.6934	-1.639	1.13E+06	II	0.000	0.00	4.5	f3s2	*4I	24342.195	3.02	3.5	f3sp6I	
410.8575	11	-1.018	2.53E+06	410.8352	-1.206	1.64E+06	I	0.000	0.00	6	d7s2	*5L	24333.793	3.02	7		
411.3486	22	-1.815	6.04E+05	411.3113	-1.902	4.94E+05	II	0.000	0.00	4.5	f3s2	*4I	24305.625	3.01	4.5		
411.6496	61	-1.196	2.09E+06	411.6097	-1.036	3.02E+06	II	0.000	0.00	4.5	f3s2	*4I	24288.006	3.01	5.5	f3sp?	
411.7287	12	-0.434	2.07E+07	411.6878	-0.840	8.12E+06	I	3868.486	0.48	3	d7s2	*5H	28151.887	3.49	3		
412.5069	33	-1.257	1.55E+06	412.4728	-1.121	2.12E+06	II	1749.123	0.22	6.5	f3d2	*6L	25986.311	3.22	6.5		
412.8638	29	-0.899	3.53E+06	412.8334	-0.795	4.48E+06	II	4420.872	0.55	5.5	f3s2	*4I	28636.887	3.55	6.5		
413.2320	6	-0.685	6.21E+06	413.2010	-0.391	1.22E+07	I	4275.707	0.53	6	d7s2	*5K	28470.178	3.53	6		
413.3435	13	-1.089	2.27E+06	413.3201	-1.095	2.24E+06	II	5790.641	0.72	5.5	f3ds	*4K	29978.143	3.72	6.5		
413.3736	18	-0.916	3.16E+06	413.3491	-0.760	4.52E+06	I	0.000	0.00	6	d7s2	*5L	24185.803	3.00	7		
413.5970	9	-1.188	2.11E+06	413.5756	-1.205	2.03E+06	II	6283.434	0.78	6.5	f3ds	*4L	30455.992	3.78	5.5		
413.7022	13	-1.380	1.35E+06	413.6813	-1.265	1.76E+06	II	4420.872	0.55	5.5	f3s2	*4I	28587.252	3.54	5.5		
413.9017	14	-1.552	1.09E+06	413.8653	-1.694	7.87E+05	II	2294.692	0.28	5.5	f3d2	*6K	26450.330	3.28	4.5		
413.9499	27	-1.630	7.60E+05	413.9138	-1.675	6.85E+05	II	0.000	0.00	4.5	f3s2	*4I	24152.809	2.99	5.5		
414.1596	32	-0.266	1.51E+07	414.1221	-0.263	1.52E+07	II	8394.362	1.04	7.5	f3d2	*6M	32535.023	4.03	6.5		
414.2250	17	-0.770	7.33E+06	414.1858	-1.143	3.11E+06	I	620.323	0.08	5	d7s2	*5K	24757.269	3.07	4		
414.5098	14	-1.544	7.93E+05	414.4695	-1.498	8.81E+05	II	2294.692	0.28	5.5	f3d2	*6K	26415.115	3.28	6.5		
414.7006	12	0.019	2.70E+07	414.6610	-0.429	9.63E+06	I	7326.118	0.91	7	d7s2	*5K	31435.402	3.90	7	5K	
415.4287	44	-0.465	8.84E+06	415.3971	-0.125	1.93E+07	I	0.000	0.00	6	d7s2	*5L	24066.566	2.98	7		
415.5724	22	-0.735	4.45E+06	415.5409	-0.759	4.20E+06	II	6283.434	0.78	6.5	f3ds	*4L	30341.670	3.76	7.5	f3dp6M	
415.6939	34	-0.481	9.82E+06	415.6648	-0.415	1.14E+07	I	620.323	0.08	5	d7s2	*5K	24671.388	3.06	6		
416.1180	13	-1.004	2.94E+06	416.0949	-1.227	1.76E+06	I	0.000	0.00	6	d7s2	*5L	24026.205	2.98	6		
416.2648	19	-0.225	1.35E+07	416.2429	-0.227	1.34E+07	I	3800.829	0.47	7	d7s2	*5L	27818.492	3.45	8		
416.3898	24	-1.619	7.71E+05	416.3678	-1.419	1.22E+06	II	0.000	0.00	4.5	f3s2	*4I	24010.461	2.98	5.5		
416.4982	13	-1.847	3.91E+05	416.4788	-2.083	2.27E+05	II	289.036	0.04	5.5	f3d2	*6L	24293.094	3.01	6.5		
416.5877	26	-1.540	9.23E+05	416.5671	-1.497	1.02E+06	II	289.036	0.04	5.5	f3d2	*6L	24288.006	3.01	5.5	f3sp?	
416.6837	13	-0.886	5.55E+06	416.6633	-1.153	3.00E+06	I	620.323	0.08	5	d7s2	*5K	24613.754	3.05	4		
416.9287	22	0.434	6.95E+07	416.9047	0.124	3.40E+07	I	8118.632	1.01	7	d27s	*5M	32098.168	3.98	7	d27p7M	
417.1983	65	-0.788	4.46E+06	417.1589	-0.606	6.78E+06	II	1749.123	0.22	6.5	f3d2	*6L	25714.049	3.19	6.5	f3sp?	
417.3364	17	-0.722	6.05E+06	417.2973	-1.051	2.84E+06	II	6283.434	0.78	6.5	f3ds	*4L	30240.410	3.75	5.5		
417.4588	23	-0.712	5.31E+06	417.4189	-0.948	3.08E+06	II	5526.750	0.69	6.5	f3ds	*6K	29476.746	3.65	6.5		
417.9357	15	-1.156	2.22E+06	417.8995	-1.261	1.74E+06	II	4585.431	0.57	6.5	f3d2	*6M	28507.889	3.53	5.5		
418.7222	16	-0.275	1.35E+07	418.6961	-0.280	1.33E+07	I	4275.707	0.53	6	d7s2	*5K	28152.652	3.49	7		
418.8313	17	-1.740	4.94E+05	418.8064	-1.659	5.95E+05	II	289.036	0.04	5.5	f3d2	*6L	24159.693	3.00	6.5		
418.9493	22	-1.630	7.43E+05	418.9272	-1.461	1.10E+06	II	289.036	0.04	5.5	f3d2	*6L	24152.809	2.99	5.5		
419.2138	11	-1.148	1.80E+06	419.1933	-1.344	1.15E+06	I	0.000	0.00	6	d7s2	*5L	23848.625	2.96	7		
419.7852	18	-0.564	7.38E+06	419.7507	-0.693	5.48E+06	II	8394.362	1.04	7.5	f3d2	*6M	32211.314	3.99	6.5		
419.8567	22	-0.741	5.29E+06	419.8215	-0.865	3.97E+06	I	620.323	0.08	5	d7s2	*5K	24433.260	3.03	6		
420.0476	11	-1.095	2.53E+06	420.0086	-1.467	1.07E+06	II	6283.434	0.78	6.5	f3ds	*4L	30085.762	3.73	5.5		
420.1513	13	0.082	2.40E+07	420.1126	-0.173	1.34E+07	I	7645.645	0.95	8	d7s2	*5L	31442.083	3.90	9	5L	
420.4729	21	-1.739	5.74E+05	420.4354	-1.724	5.93E+05	II	0.000	0.00	4.5	f3s2	*4I	23778.170	2.95	5.5		
421.0756	15	-1.597	7.93E+05	421.0441	-1.864	4.29E+05	II	1749.123	0.22	6.5	f3d2	*6L	25492.918	3.16	5.5		
421.1925	17	-1.109	2.44E+06	421.1658	-1.040	2.86E+06	II	4585.431	0.57	6.5	f3d2	*6M	28322.361	3.51	5.5		
421.2557	15	-1.190	2.02E+06	421.2253	-1.294	1.59E+06	II	4420.872	0.55	5.5	f3s2	*4I	28154.451	3.49	5.5	f3dp6L	
421.4128	12	0.614	7.35E+07	421.3865	0.439	4.91E+07	I	11308.153	1.40	9	d7s2	*5L	35032.655	4.34	10	d27p7N	
421.4682	13	-1.850	4.42E+05	421.4411	-2.044	2.83E+05	II	289.036	0.04	5.5	f3d2	*6L	24010.461	2.98	5.5		
422.0178	9	-0.583	6.52E+06	421.9963	-0.726	4.69E+06	I	4275.707	0.53	6	d7s2	*5K	27965.923	3.47	7		
422.2542	21	-0.278	1.16E+07	422.2368	-0.086	1.80E+07	I	3800.829	0.47	7	d7s2	*5L	27477.553	3.41	8		
422.7567	13	-1.169	1.58E+06	422.7325	-1.373	9.88E+05	II	6283.434	0.78	6.5	f3ds	*4L	29932.393	3.71	7.5		
422.9132	15	-1.139	3.39E+06	422.8756	-1.509	1.44E+06	II	4706.277	0.58	2.5	f3ds	*6H	28347.236	3.51	3.5		
423.2033	23	0.347	4.36E+07	423.1668	0.180	2.97E+07	I	7645.645	0.95	8	d7s2	*5L	31270.334	3.88	9	d27p7N	
423.2412	19	-1.745	6.70E+05	423.2043	-2.109	2.90E+05	II	289.036	0.04	5.5	f3d2	*6L	23911.631	2.96	4.5		
423.6379	18	-0.799	5.37E+06	423.6037	-0.821	5.10E+06	I	620.323	0.08	5	d7s2	*5K	24220.650	3.00	5		
424.0902	11	-1.229	1.56E+06	424.0587	-1.608	6.53E+05	II	5259.653	0.65	7.5	f3ds	*6L	28834.656	3.58	6.5		
424.1953	51	-0.674	6.54E+06	424.1664	-0.431	1.15E+07	II	4585.431	0.57	6.5	f3d2	*6M	28154.451	3.49	5.5	f3dp6L	

Measurement				CfA DataBase													
Wave length	Int	log(gf)	A	Wave length	log(gf)	A	I o n	Lower Energy Level					Upper Energy Level				
				nm	1/s	nm	1/s	1/cm	eV	J	Conf	1/cm	eV	J	Conf		
424.4625	43	-1.425	1.16E+06	424.4373	-1.278	1.63E+06	II	0.000	0.00	4.5	f3s2	*4I	23553.975	2.92	5.5		
424.6478	23	-0.770	4.19E+06	424.6260	-0.690	5.03E+06	I	0.000	0.00	6	d7s2	*5L	23543.508	2.92	7		
425.2611	15	-1.254	1.47E+06	425.2426	-1.251	1.48E+06	II	4420.872	0.55	5.5	f3s2	*4I	27930.242	3.46	6.5		
426.6676	18	-0.931	3.91E+06	426.6323	-1.372	1.41E+06	I	0.000	0.00	6	d7s2	*5L	23432.795	2.91	5		
426.7626	19	-1.664	9.92E+05	426.7298	-1.744	8.25E+05	II	914.758	0.11	4.5	f3d2	*6K	24342.195	3.02	3.5 f3sp6I		
426.8249	14	-0.131	2.08E+07	426.7929	-0.607	6.96E+06	I	6249.029	0.77	6	d27s	*7M	29673.004	3.68	6		
426.9168	17	-1.490	1.18E+06	426.8846	-1.819	5.55E+05	II	2294.692	0.28	5.5	f3d2	*6K	25713.633	3.19	4.5		
426.9911	28	-1.373	1.11E+06	426.9605	-1.585	6.79E+05	II	1749.123	0.22	6.5	f3d2	*6L	25163.904	3.12	6.5		
427.4205	15	-1.740	6.65E+05	427.3970	-1.990	3.73E+05	II	914.758	0.11	4.5	f3d2	*6K	24305.625	3.01	4.5		
427.6675	9	-1.321	1.24E+06	427.6463	-1.459	9.05E+05	II	5259.653	0.65	7.5	f3ds	*6L	28636.887	3.55	6.5		
428.2203	25	-1.672	5.53E+05	428.2023	-1.672	5.53E+05	II	289.036	0.04	5.5	f3d2	*6L	23635.916	2.93	6.5		
428.2627	18	-1.174	2.03E+06	428.2460	-1.242	1.74E+06	II	4585.431	0.57	6.5	f3d2	*6M	27929.928	3.46	5.5		
428.8193	34	-1.595	9.23E+05	428.7861	-1.709	7.09E+05	II	0.000	0.00	4.5	f3s2	*4I	23315.090	2.89	4.5 f3sp6K		
428.9179	28	0.157	4.00E+07	428.8831	-0.054	2.46E+07	I	6249.029	0.77	6	d27s	*7M	29558.850	3.67	6		
429.7422	28	-1.663	6.54E+05	429.7105	-1.802	4.75E+05	II	289.036	0.04	5.5	f3d2	*6L	23553.975	2.92	5.5		
430.1712	19	-1.846	4.28E+05	430.1463	-1.936	3.48E+05	II	0.000	0.00	4.5	f3s2	*4I	23241.367	2.88	5.5		
430.7004	9	-1.230	1.93E+06	430.6813	-1.696	6.58E+05	I	0.000	0.00	6	d7s2	*5L	23212.495	2.88	5		
431.0542	7	-1.338	1.18E+06	431.0375	-1.508	7.96E+05	II	6283.434	0.78	6.5	f3ds	*4L	29476.746	3.65	6.5		
431.3299	18	-0.426	7.91E+06	431.3139	-0.487	6.87E+06	I	3800.829	0.47	7	d7s2	*5L	26979.283	3.35	8		
431.4031	21	-1.592	6.55E+05	431.3874	-1.726	4.81E+05	II	1749.123	0.22	6.5	f3d2	*6L	24923.623	3.09	6.5		
432.0112	14	-1.612	8.74E+05	431.9770	-2.138	2.60E+05	II	2294.692	0.28	5.5	f3d2	*6K	25437.566	3.15	4.5		
432.6216	20	-1.002	2.54E+06	432.5889	-1.502	8.01E+05	II	5526.750	0.69	6.5	f3ds	*6K	28636.887	3.55	6.5		
433.5949	14	-1.005	2.34E+06	433.5732	-1.058	2.07E+06	I	0.000	0.00	6	d7s2	*5L	23057.676	2.86	7		
434.1826	46	-1.453	1.25E+06	434.1686	-1.161	2.44E+06	II	289.036	0.04	5.5	f3d2	*6L	23315.090	2.89	4.5 f3sp6K		
434.7480	28	-1.650	7.91E+05	434.7195	-1.743	6.38E+05	II	914.758	0.11	4.5	f3d2	*6K	23911.631	2.96	4.5		
435.4866	16	-0.478	7.81E+06	435.4546	-0.532	6.89E+06	I	3800.829	0.47	7	d7s2	*5L	26758.885	3.32	7		
435.6054	37	-0.562	7.42E+06	435.5739	-0.435	9.93E+06	I	620.323	0.08	5	d7s2	*5K	23572.086	2.92	6		
436.2293	39	-0.594	5.95E+06	436.2051	-0.513	7.17E+06	I	0.000	0.00	6	d7s2	*5L	22918.555	2.84	7 d7sp5L		
436.2494	42	-1.542	8.39E+05	436.2261	-1.758	5.10E+05	II	0.000	0.00	4.5	f3s2	*4I	22917.453	2.84	5.5		
436.3173	19	-1.187	1.90E+06	436.2928	-1.630	6.84E+05	II	4585.431	0.57	6.5	f3d2	*6M	27499.379	3.41	5.5		
437.1885	13	0.061	2.36E+07	437.1758	-0.177	1.37E+07	I	8118.632	1.01	7	d27s	*5M	30986.297	3.84	8		
437.2708	23	-1.644	6.60E+05	437.2572	-1.724	5.49E+05	II	914.758	0.11	4.5	f3d2	*6K	23778.170	2.95	5.5		
437.2877	18	-1.010	2.62E+06	437.2755	-1.305	1.33E+06	I	0.000	0.00	6	d7s2	*5L	22862.451	2.83	6		
437.3529	19	-1.648	6.53E+05	437.3407	-1.785	4.77E+05	II	1749.123	0.22	6.5	f3d2	*6L	24608.170	3.05	5.5 f3sp6K		
438.3569	16	-0.448	8.24E+06	438.3262	-0.948	2.61E+06	I	3800.829	0.47	7	d7s2	*5L	26608.482	3.30	7		
439.3817	37	-0.647	6.00E+06	439.3586	-0.639	6.10E+06	I	0.000	0.00	6	d7s2	*5L	22754.061	2.82	6		
440.2542	7	-1.035	2.65E+06	440.2431	-1.162	1.97E+06	II	8510.866	1.06	5.5	f3ds	*	31219.211	3.87	5.5		
441.5533	23	-1.768	5.83E+05	441.5239	-1.908	4.23E+05	II	0.000	0.00	4.5	f3s2	*4I	22642.473	2.81	4.5		
442.6865	13	-1.326	2.01E+06	442.6677	-1.636	9.83E+05	II	4706.277	0.58	2.5	f3ds	*6H	27290.244	3.38	3.5		
442.7119	17	-0.959	2.88E+06	442.6934	-1.323	1.24E+06	I	0.000	0.00	6	d7s2	*5L	22582.654	2.80	6		
442.7829	17	-1.868	4.61E+05	442.7651	-1.982	3.54E+05	II	289.036	0.04	5.5	f3d2	*6L	22868.033	2.84	4.5		
443.3986	10	-0.874	2.83E+06	443.3887	-1.187	1.38E+06	II	8394.362	1.04	7.5	f3d2	*6M	30941.607	3.84	7.5		
443.4628	15	-1.685	5.01E+05	443.4531	-1.805	3.79E+05	II	1749.123	0.22	6.5	f3d2	*6L	24293.094	3.01	6.5		
444.0840	8	-0.816	3.04E+06	444.0737	-1.105	1.56E+06	I	3800.829	0.47	7	d7s2	*5L	26313.293	3.26	8		
446.3076	21	-1.723	6.34E+05	446.2967	-1.782	5.53E+05	II	914.758	0.11	4.5	f3d2	*6K	23315.090	2.89	4.5 f3sp6K		
446.5237	14	-1.710	6.52E+05	446.5138	-1.944	3.80E+05	II	2294.692	0.28	5.5	f3d2	*6K	24684.135	3.06	4.5 f3sp?		
446.9405	10	-1.266	1.21E+06	446.9325	-1.442	8.04E+05	I	0.000	0.00	6	d7s2	*5L	22368.467	2.77	7		
447.2496	95	-1.229	1.97E+06	447.2330	-1.260	1.83E+06	II	289.036	0.04	5.5	f3d2	*6L	22642.473	2.81	4.5		
447.7957	22	-1.711	5.39E+05	447.7704	-2.118	2.11E+05	II	914.758	0.11	4.5	f3d2	*6K	23241.367	2.88	5.5		
449.1004	19	-1.657	6.07E+05	449.0833	-1.823	4.14E+05	II	1749.123	0.22	6.5	f3d2	*6L	24010.461	2.98	5.5		
451.0535	19	-1.939	3.77E+05	451.0317	-2.240	1.89E+05	II	0.000	0.00	4.5	f3s2	*4I	22165.176	2.75	4.5		
451.5493	39	-1.596	8.30E+05	451.5278	-1.671	6.98E+05	II	289.036	0.04	5.5	f3d2	*6L	22429.859	2.78	4.5		
451.6940	19	-0.906	3.12E+06	451.6723	-1.276	1.33E+06	I	620.323	0.08	5	d7s2	*5K	22754.061	2.82	6		
453.8214	20	-1.639	6.19E+05	453.8189	-1.601	6.76E+05	II	1749.123	0.22	6.5	f3d2	*6L	23778.170	2.95	5.5		
454.3790	62	-1.255	1.50E+06	454.3624	-1.191	1.73E+06	II	914.758	0.11	4.5	f3d2	*6K	22917.453	2.84	5.5		

Measurement				CfA DataBase													
Wave length	Int	log(gf)	A	Wave length	log(gf)	A	I o n	Lower Energy Level					Upper Energy Level				
				nm	1/s	nm	1/s	1/cm	eV	J	Conf	1/cm	eV	J	Conf		
454.5768	31	-1.332	1.25E+06	454.5562	-1.639	6.17E+05	II	2294.692	0.28	5.5	f3d2	*6K	24288.006	3.01	5.5	f3sp?	
455.2159	22	-0.881	3.26E+06	455.1975	-1.479	8.21E+05	I	620.323	0.08	5	d7s2	*5K	22582.654	2.80	6		
455.4002	24	-1.745	5.79E+05	455.3852	-2.384	1.33E+05	II	914.758	0.11	4.5	f3d2	*6K	22868.033	2.84	4.5		
455.5224	17	-0.732	3.72E+06	455.5091	-1.167	1.37E+06	II	8394.362	1.04	7.5	f3d2	*6M	30341.670	3.76	7.5	f3dp6M	
456.3967	8	0.504	4.87E+07	456.3945	0.137	2.09E+07	I	13127.925	1.63	9	d27s	*7M	35032.655	4.34	10	d27p7N	
456.7691	17	-1.747	4.09E+05	456.7685	-1.911	2.80E+05	II	1749.123	0.22	6.5	f3d2	*6L	23635.916	2.93	6.5		
456.9885	18	-1.937	3.70E+05	456.9910	-1.922	3.82E+05	II	289.036	0.04	5.5	f3d2	*6L	22165.176	2.75	4.5		
457.3698	18	-1.691	5.42E+05	457.3678	-1.619	6.39E+05	II	2294.692	0.28	5.5	f3d2	*6K	24152.809	2.99	5.5		
457.6764	16	-1.016	2.36E+06	457.6640	-1.399	9.77E+05	I	620.323	0.08	5	d7s2	*5K	22464.293	2.79	6		
458.5010	12	-1.880	3.49E+05	458.4851	-2.153	1.86E+05	II	1749.123	0.22	6.5	f3d2	*6L	23553.975	2.92	5.5		
460.1116	15	-1.866	4.29E+05	460.1128	-2.260	1.73E+05	II	914.758	0.11	4.5	f3d2	*6K	22642.473	2.81	4.5		
460.3613	23	-1.520	7.92E+05	460.3659	-1.686	5.40E+05	II	2294.692	0.28	5.5	f3d2	*6K	24010.461	2.98	5.5		
460.5105	11	-1.320	1.25E+06	460.5150	-1.664	5.68E+05	II	5790.641	0.72	5.5	f3ds	*4K	27499.379	3.41	5.5		
460.9949	14	-2.066	1.92E+05	460.9861	-2.478	7.45E+04	II	289.036	0.04	5.5	f3d2	*6L	21975.590	2.72	6.5	f2d3?6K	
462.0320	36	0.121	2.75E+07	462.0213	0.014	2.15E+07	I	6249.029	0.77	6	d27s	*7M	27886.992	3.46	7	d27p7N	
462.2521	13	-1.387	8.01E+05	462.2423	-1.873	2.61E+05	II	5259.653	0.65	7.5	f3ds	*6L	26887.270	3.33	7.5		
462.7112	31	-1.069	1.90E+06	462.7075	-1.178	1.48E+06	II	4585.431	0.57	6.5	f3d2	*6M	26191.307	3.25	6.5	f3sp6M	
463.1604	27	-0.881	3.15E+06	463.1615	-0.909	2.95E+06	I	0.000	0.00	6	d7s2	*5L	21584.695	2.68	6		
464.1611	9	-1.147	1.38E+06	464.1650	-1.318	9.30E+05	II	8394.362	1.04	7.5	f3d2	*6M	29932.393	3.71	7.5		
464.6672	36	-1.609	7.60E+05	464.6597	-1.671	6.59E+05	II	914.758	0.11	4.5	f3d2	*6K	22429.859	2.78	4.5		
466.3745	15	-1.038	2.16E+06	466.3748	-1.466	8.06E+05	I	620.323	0.08	5	d7s2	*5K	22056.302	2.73	6		
466.6827	26	-1.819	3.32E+05	466.6850	-1.950	2.45E+05	II	289.036	0.04	5.5	f3d2	*6L	21710.770	2.69	6.5		
467.1308	14	-1.429	8.14E+05	467.1397	-1.571	5.86E+05	II	4585.431	0.57	6.5	f3d2	*6M	25986.311	3.22	6.5		
468.9150	29	-1.834	5.56E+05	468.9075	-1.908	4.68E+05	II	0.000	0.00	4.5	f3s2	*4I	21320.201	2.64	3.5		
470.0906	8	-2.321	1.44E+05	470.0973	-2.453	1.06E+05	II	289.036	0.04	5.5	f3d2	*6L	21555.275	2.67	4.5		
470.1975	9	-1.608	9.31E+05	470.2040	-1.866	5.13E+05	II	4706.277	0.58	2.5	f3ds	*6H	25967.693	3.22	3.5		
470.2429	15	-1.758	4.39E+05	470.2512	-1.861	3.46E+05	II	2294.692	0.28	5.5	f3d2	*6K	23553.975	2.92	5.5		

# 国際単位系 (SI)

表1. SI 基本単位

基本量	SI 基本単位	
	名称	記号
長さ	メートル	m
質量	キログラム	kg
時間	秒	s
電流	アンペア	A
熱力学温度	ケルビン	K
物質量	モル	mol
光度	カンデラ	cd

表2. 基本単位を用いて表されるSI組立単位の例

組立量	SI組立単位	
	名称	記号
面積	平方メートル	m <sup>2</sup>
体積	立方メートル	m <sup>3</sup>
速度	メートル毎秒	m/s
加速度	メートル毎秒毎秒	m/s <sup>2</sup>
波数	毎メートル	m <sup>-1</sup>
密度、質量密度	キログラム毎立方メートル	kg/m <sup>3</sup>
面積密度	キログラム毎平方メートル	kg/m <sup>2</sup>
比體積	立方メートル毎キログラム	m <sup>3</sup> /kg
電流密度	アンペア毎平方メートル	A/m <sup>2</sup>
磁界の強さ	アンペア毎メートル	A/m
量濃度 <sup>(a)</sup> 、濃度	モル毎立方メートル	mol/m <sup>3</sup>
質量濃度	キログラム毎立方メートル	kg/m <sup>3</sup>
輝度	カンデラ毎平方メートル	cd/m <sup>2</sup>
屈折率 <sup>(b)</sup>	(数字の) 1	1
比透磁率 <sup>(b)</sup>	(数字の) 1	1

(a)量濃度(amount concentration)は臨床化学の分野では物質濃度(substance concentration)ともよばれる。

(b)これらは無次元あるいは次元をもつ量であるが、そのことを表す単位記号である数字の1は通常は表記しない。

表3. 固有の名称と記号で表されるSI組立単位

組立量	SI組立単位		
	名称	記号	他のSI単位による表し方
平面角	ラジアン <sup>(b)</sup>	rad	1 <sup>(b)</sup>
立体角	ステラジアン <sup>(b)</sup>	sr <sup>(c)</sup>	1 <sup>(b)</sup>
周波数	ヘルツ <sup>(d)</sup>	Hz	1/s
力	ニュートン	N	m kg s <sup>-2</sup>
圧力、応力	パスカル	Pa	N/m <sup>2</sup>
エネルギー、仕事、熱量	ジュール	J	m <sup>2</sup> kg s <sup>-2</sup>
仕事率、工率、放射束	ワット	W	m <sup>2</sup> kg s <sup>-3</sup>
電荷、電気量	クーロン	C	s A
電位差(電圧)、起電力	ボルト	V	m <sup>2</sup> kg s <sup>-3</sup> A <sup>-1</sup>
静電容量	ファラード	F	C/V
電気抵抗	オーム	Ω	m <sup>2</sup> kg s <sup>-3</sup> A <sup>-2</sup>
コンダクタンス	ジーメンス	S	A/V
磁束密度	ウェーバ	Wb	Vs
磁束密度	テスラ	T	Wb/m <sup>2</sup>
インダクタンス	ヘンリー	H	kg s <sup>2</sup> A <sup>-1</sup>
セルシウス温度	セルシウス度 <sup>(e)</sup>	°C	Wb/A
光照度	ルーメン	lm	cd sr <sup>(e)</sup>
放射性核種の放射能 <sup>(f)</sup>	ベクレル <sup>(d)</sup>	Bq	lm/m <sup>2</sup>
吸収線量、比エネルギー分与、カーマ	グレイ	Gy	m <sup>2</sup> s <sup>-2</sup>
線量当量、周辺線量当量、方向線量当量、個人線量当量	シーベルト <sup>(g)</sup>	Sv	J/kg
酸素活性	カタール	kat	m <sup>2</sup> s <sup>-2</sup>

(a)SI接頭語は固有の名称と記号を持つ組立単位と組み合わせても使用できる。しかし接頭語を付した単位はもはやコヒーレントではない。

(b)ラジアンとステラジアンは数字の1に対する単位の特別な名称で、量についての情報をつたえるために使われる。実際には、使用する時には記号rad及びsrが用いられるが、習慣として組立単位としての記号である数字の1は明示されない。

(c)測光学ではステラジアンという名称と記号srを表し方の中に、そのまま維持している。

(d)ヘルツは周期現象についてのみ、ベクレルは放射性核種の統計的過程についてのみ使用される。

(e)セルシウス度はケルビンの特別な名称で、セルシウス温度を表すために使用される。セルシウス度とケルビンの単位の大きさは同じである。したがって、温度差や温度間隔を表す數値はどちらの単位で表しても同じである。

(f)放射性核種の放射能(activity referred to a radionuclide)は、しばしば誤った用語で“radioactivity”と記される。(g)単位シーベルト(PV,2002,70,205)についてはCIPM勧告2(CI-2002)を参照。

表4. 単位の中に固有の名称と記号を含むSI組立単位の例

組立量	SI組立単位		
	名称	記号	SI基本単位による表し方
粘度	パスカル秒	Pa s	m <sup>1</sup> kg s <sup>-1</sup>
力のモーメント	ニュートンメートル	N m	m <sup>2</sup> kg s <sup>2</sup>
表面張力	ニュートン毎メートル	N/m	kg s <sup>-2</sup>
角速度	ラジアン毎秒	rad/s	m <sup>-1</sup> s <sup>-1</sup> =s <sup>-1</sup>
角加速度	ラジアン毎秒毎秒	rad/s <sup>2</sup>	m <sup>-1</sup> s <sup>-2</sup> =s <sup>-2</sup>
熱流密度、放射照度	ワット毎平方メートル	W/m <sup>2</sup>	kg s <sup>-3</sup>
熱容量、エンントロピー	ジュール毎ケルビン	J/K	m <sup>2</sup> kg s <sup>-2</sup> K <sup>-1</sup>
比熱容量、比エンントロピー	ジュール毎キログラム毎ケルビン	J/(kg K)	m <sup>2</sup> s <sup>-2</sup> K <sup>-1</sup>
比エネルギー	ジュール毎キログラム	J/kg	m <sup>2</sup> s <sup>-2</sup>
熱伝導率	ワット毎メートル毎ケルビン	W/(m K)	m kg s <sup>-3</sup> K <sup>-1</sup>
体積エネルギー	ジュール毎立方メートル	J/m <sup>3</sup>	m <sup>1</sup> kg s <sup>-2</sup>
電界の強さ	ボルト毎メートル	V/m	m kg s <sup>-3</sup> A <sup>-1</sup>
電荷密度	クーロン毎立方メートル	C/m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup> s A
表面電荷密度	クーロン毎平方メートル	C/m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup> s A
電束密度、電気変位	クーロン毎平方メートル	C/m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup> s A
誘電率	ファラード毎メートル	F/m	m <sup>3</sup> kg s <sup>-4</sup> A <sup>2</sup>
透過率	ヘンリー毎メートル	H/m	m kg s <sup>-2</sup> A <sup>2</sup>
モルエネルギー	ジュール毎モル	J/mol	m <sup>2</sup> kg s <sup>-2</sup> mol <sup>1</sup>
モルエントロピー、モル熱容量	ジュール毎モル毎ケルビン	J/(mol K)	m <sup>2</sup> kg s <sup>-2</sup> K <sup>-1</sup> mol <sup>1</sup>
照射線量(X線及びγ線)	クーロン毎キログラム	C/kg	kg <sup>-1</sup> s A
吸収線量率	グレイ毎秒	Gy/s	m <sup>-2</sup> s <sup>-3</sup>
放射強度	ワット毎メートル毎ステラジアン	W/sr	m <sup>2</sup> kg s <sup>-3</sup> =m <sup>2</sup> kg s <sup>-3</sup>
放射輝度	ワット毎平方メートル毎ステラジアン	W/(m <sup>2</sup> sr)	m <sup>2</sup> m <sup>2</sup> kg s <sup>-3</sup> =kg s <sup>-3</sup>
酵素活性濃度	カタール毎立方メートル	kat/m <sup>3</sup>	m <sup>-3</sup> s <sup>-1</sup> mol

表5. SI接頭語

乗数	名称	記号	乗数	名称	記号
10 <sup>24</sup>	ヨータ	Y	10 <sup>-1</sup>	デシ	d
10 <sup>21</sup>	ゼータ	Z	10 <sup>-2</sup>	センチ	c
10 <sup>18</sup>	エクサ	E	10 <sup>-3</sup>	ミリ	m
10 <sup>15</sup>	ペタ	P	10 <sup>-6</sup>	マイクロ	μ
10 <sup>12</sup>	テラ	T	10 <sup>-9</sup>	ナノ	n
10 <sup>9</sup>	ギガ	G	10 <sup>-12</sup>	ピコ	p
10 <sup>6</sup>	メガ	M	10 <sup>-15</sup>	フェムト	f
10 <sup>3</sup>	キロ	k	10 <sup>-18</sup>	アト	a
10 <sup>2</sup>	ヘクト	h	10 <sup>-21</sup>	ゼット	z
10 <sup>1</sup>	デカ	da	10 <sup>-24</sup>	ヨクト	y

表6. SIに属さないが、SIと併用される単位

名称	記号	SI単位による値
分	min	1 min=60 s
時	h	1 h=60 min=3600 s
日	d	1 d=24 h=86 400 s
度	°	1°=(π/180) rad
分	'	1'=(1/60)°=(π/10 800) rad
秒	"	1"=(1/60)'=(π/648 000) rad
ヘクタール	ha	1 ha=1 hm <sup>2</sup> =10 <sup>4</sup> m <sup>2</sup>
リットル	L	1 L=1 l=1 dm <sup>3</sup> =10 <sup>3</sup> cm <sup>3</sup> =10 <sup>-3</sup> m <sup>3</sup>
トン	t	1 t=10 <sup>3</sup> kg

表7. SIに属さないが、SIと併用される単位で、SI単位で表される数値が実験的に得られるもの

名称	記号	SI単位で表される数値
電子ボルト	eV	1 eV=1.602 176 53(14)×10 <sup>-19</sup> J
ダルトン	Da	1 Da=1.660 538 86(28)×10 <sup>-27</sup> kg
統一原子質量単位	u	1 u=1 Da
天文単位	ua	1 ua=1.495 978 706 91(6)×10 <sup>11</sup> m

表8. SIに属さないが、SIと併用されるその他の単位

名称	記号	SI単位で表される数値
バール	bar	1 bar=0.1MPa=100 kPa=10 <sup>5</sup> Pa
水銀柱ミリメートル	mmHg	1 mmHg≈133.322Pa
オングストローム	Å	1 Å=0.1nm=100pm=10 <sup>-10</sup> m
海里	M	1 M=1852m
ノット	b	1 b=100fm <sup>2</sup> =(10 <sup>-12</sup> cm) <sup>2</sup> =10 <sup>-28</sup> m <sup>2</sup>
ノット	kn	1 kn=(1852/3600)m/s
ネバール	Np	SI単位との数値的な関係は、対数量の定義に依存。
デシベル	dB	

表9. 固有の名称をもつCGS組立単位

名称	記号	SI単位で表される数値
エルグ	erg	1 erg=10 <sup>-7</sup> J
ダイーン	dyn	1 dyn=10 <sup>-5</sup> N
ボアズ	P	1 P=1 dyn s cm <sup>-2</sup> =0.1Pa s
ストークス	St	1 St=1cm <sup>2</sup> s <sup>-1</sup> =10 <sup>4</sup> m <sup>2</sup> s <sup>-1</sup>
スチルブ	sb	1 sb=1cd cm <sup>-2</sup> =10 <sup>4</sup> cd m <sup>-2</sup>
フォート	ph	1 ph=1cd sr cm <sup>-2</sup> =10 <sup>4</sup> lx
ガル	Gal	1 Gal=1cm s <sup>-2</sup> =10 <sup>-2</sup> ms <sup>-2</sup>
マックスウェル	Mx	1 Mx=1G cm <sup>2</sup> =10 <sup>8</sup> Wb
ガウス	G	1 G=1Mx cm <sup>-2</sup> =10 <sup>-4</sup> T
エルステッド <sup>(a)</sup>	Oe	1 Oe△(10 <sup>3</sup> /4 π) A m <sup>-1</sup>

(a)3元系のCGS単位系とSIでは直接比較できないため、等号「△」は対応関係を示すものである。

表10. SIに属さないその他の単位の例

名称	記号	SI単位で表される数値
キュリ	Ci	1 Ci=3.7×10 <sup>10</sup> Bq
レントゲン	R	1 R=2.58×10 <sup>-4</sup> C/kg
ラド	rad	1 rad=1cGy=10 <sup>-2</sup> Gy
レム	rem	1 rem=1 cSv=10 <sup>-2</sup> Sv
ガンマ	γ	1 γ=1 nT=10 <sup>-9</sup> T
フェルミ	f	1 フェルミ=1 fm=10 <sup>-15</sup> m
メートル系カラット	Torr	1 Torr=(101 325/760) Pa
標準大気圧	atm	1 atm=101 325 Pa
カロリ	cal	1 cal=4.1858J (15°Cカロリー), 4.1868J (ITカロリー), 4.184J (熱化学カロリー)
ミクロ	μ	1 μ=1μm=10 <sup>-6</sup> m

