

JAERI - M
87-054

JT-60プラズマでの可視域分光写真測定
(波長範囲 2210 Å ~ 5250 Å)

1987年3月

赤岡 伸雄・久保 博孝・杉江 達夫
逆井 章・小出 芳彦

JAERI-Mレポートは、日本原子力研究所が不定期に公刊している研究報告書です。
入手の問い合わせは、日本原子力研究所技術情報部情報資料課（〒319-11茨城県那珂郡東海村）あて、お申しこしてください。なお、このほかに財団法人原子力弘済会資料センター（〒319-11茨城県那珂郡東海村日本原子力研究所内）で複写による実費頒布をおこなっております。

JAERI-M reports are issued irregularly.

Inquiries about availability of the reports should be addressed to Information Division, Department of Technical Information, Japan Atomic Energy Research Institute, Tokaimura, Naka-gun, Ibaraki-ken 319-11, Japan.

© Japan Atomic Energy Research Institute, 1987

編集兼発行 日本原子力研究所
印刷 ㈱原子力資料サービス

JT-60 プラズマでの可視域分光写真測定
(波長範囲 2210Å~5250Å)

日本原子力研究所那珂研究所臨界プラズマ研究部
赤岡伸雄・久保博孝・杉江達夫
逆井 章・小出芳彦

(1987年3月3日 受理)

臨界プラズマ試験装置における不純物の振舞を調べる上に必要な基礎データを得るために、2000Å から 7000Å の波長範囲が測定可能な 0.5m Czerny-Turner 型分光器により可視域におけるスペクトル線の写真測定を行なった。写真同定の結果、3価までの Ti, 4価までの C, O, および 1価までの Cr, Ni の低電離イオンのスペクトル線と、プラズマのイオン温度、チタンの量、プラズマの回転速度等の主プラズマの診断に有効となる高電離イオンの禁制線 (Ti XVII 3834.4 Å, Ti XIX 2344.6 Å) が同定された。

Spectrograms of the visible region in the JT-60 Tokamak
(Wavelength range from 2210 Å to 5250 Å)

Nobuo AKAOKA, Hirotaka KUBO, Tatsuo SUGIE,
Akira SAKASAI and Yoshihiko KOIDE

Department of Large Tokamak Research
Naka Fusion Reserch Establishment
Japan Atomic Energy Research Institute
Naka-machi, Naka-gun, Ibaraki-ken
(Received March 3, 1987)

In order to obtain the basically spectroscopic data for the investigation of impurity behavior in JT-60 tokamak, the spectrographic measurement of the visible spectral lines in ohmically heated plasma were performed by 0.5 m Czerny-Turner type spectrometer which covered the wave length range from 2210 Å to 5250 Å. The low ionized spectral lines of oxgen and carbon up to four times, titanium up to three times, and chromium and nikel up to one times were observed. And also two forbidden lines of highly ionized titanium (Ti XVII 3834.4 Å, Ti XIX 2344.6 Å) which were useful for the measurement of titanium density, local ion temperature and plasma rotation were identified.

Keywords: JT-60 Tokamak, Visible Region, Spectrographic Measurement,
Wavelength Range, Forbidden Line

目 次

1. 序 論	1
2. 分 光 器	1
3. 波長同定と結果	3
4. 結 言	4
謝 辞	5
参考文献	5

Contents

1. Introduction	1
2. Spectrometer	1
3. Wave length identified and Results	3
4. Conclusions	4
Acknowledgements	5
References	5

1. 序 論

トカマクでは、真空容器の壁あるいは、リミターからプラズマ中に不純物として、それぞれの材質（Ni, Ti, Mo, Cr等）および、それに吸着している酸素、炭素等が混入する。プラズマ中に混入した不純物は、プラズマ粒子（電子、イオン）と衝突することにより電離または励起され、プラズマのエネルギーは輻射という形で、プラズマの系外へ放出される。例えばプラズマ中に酸素であれば10%程度、金属であれば0.1%程度以上あると、プラズマに注入したエネルギーのほとんどが、輻射損失によって失われる¹⁾。従って、不純物イオンからのスペクトル線を観測することにより、その挙動を診断することがプラズマ閉じ込め性能を評価する上で、重要な実験のひとつとなる。また、混入した不純物をトレーサーとして利用すれば、プラズマについての種々の情報が得られる。

JT-60プラズマはジュール加熱で2 keV程度、追加熱を行なった場合には、数keV~10keV程度の高温プラズマとなる。また、不純物除去のため磁気リミター構造を持ち、プラズマ第一壁のリミタ、NBI対向面のライナ及びダイバータ板がモリブデンにTiCコーティング、その他のライナーは、インコネルにTiCコーティングを施してある。このように今までのプラズマに比べて高温で、壁材及び構造に特徴あるプラズマの分光測定を行う場合には過去にあまりデータが存在しないこともあり、可視域から軟X線域にわたる広い範囲のスペクトル線の全体像を分光写真を撮ることにより把握しておくことがまず必要である。

今回JT-60プラズマ中に混入している元素の種類及び波長分布を調べ、光電測光を行なえるスペクトル線をできるだけ多く見つけスペクトル線の総合的な基礎データを得ることを目的として、可視域から軟X線域の範囲で一連の分光写真撮影を行った。ここでは、その中の可視域（2210Å~5250Å）での結果について述べる。可視域での利用可能なスペクトル線が見つければ、技術的には比較的自由度の大きい簡単な光学系でプラズマ診断が可能となる。

また、今までは、多大な時間と労力を費やしたスペクトル線同定作業を、今回は、原研・物理部・核データセンターの原子分子データベースを利用したスペクトル線作図プログラムを使用することにより迅速化、信頼性向上を計ることができた。

2. 分 光 器

本分光写真は、JT-60の分光計測システム²⁾の内、可視域絶対測光基準サブシステム³⁾により行った。本サブシステムはJT-60真空容器の中心を通り垂直な光軸をもち、そこからの光を集光し分光計測を行う。図1に、分光系の構成図を模式的に示す。プラズマ光は、窓ガラスを通り集光レンズで入射スリットに結像する。測定波長範囲が紫外域まで至るので、ガラスはすべて石英ガラスを使用し、反射鏡は、紫外域から可視域で高反射率を有するAlにMgF₂のコーテン

1. 序 論

トカマクでは、真空容器の壁あるいは、リミターからプラズマ中に不純物として、それぞれの材質（Ni, Ti, Mo, Cr等）および、それに吸着している酸素、炭素等が混入する。プラズマ中に混入した不純物は、プラズマ粒子（電子、イオン）と衝突することにより電離または励起され、プラズマのエネルギーは放射という形で、プラズマの系外へ放出される。例えばプラズマ中に酸素であれば10%程度、金属であれば0.1%程度以上あると、プラズマに注入したエネルギーのほとんどが、放射損失によって失われる¹⁾。従って、不純物イオンからのスペクトル線を観測することにより、その挙動を診断することがプラズマ閉じ込め性能を評価する上で、重要な実験のひとつとなる。また、混入した不純物をトレーサーとして利用すれば、プラズマについての種々の情報が得られる。

JT-60プラズマはジュール加熱で2 keV程度、追加熱を行なった場合には、数keV~10keV程度の高温プラズマとなる。また、不純物除去のため磁気リミター構造を持ち、プラズマ第一壁のリミタ、NBI対向面のライナ及びダイバータ板がモリブデンにTiCコーティング、その他のライナーは、インコネルにTiCコーティングを施してある。このように今までのプラズマに比べて高温で、壁材及び構造に特徴あるプラズマの分光測定を行う場合には過去にあまりデータが存在しないこともあり、可視域から軟X線域にわたる広い範囲のスペクトル線の全体像を分光写真を撮ることにより把握しておくことがまず必要である。

今回JT-60プラズマ中に混入している元素の種類及び波長分布を調べ、光電測光を行なえるスペクトル線をできるだけ多く見つけスペクトル線の総合的な基礎データを得ることを目的として、可視域から軟X線域の範囲で一連の分光写真撮影を行った。ここでは、その中の可視域（2210Å~5250Å）での結果について述べる。可視域での利用可能なスペクトル線が見つければ、技術的には比較的自由度の大きい簡単な光学系でプラズマ診断が可能となる。

また、今までは、多大な時間と労力を費やしたスペクトル線同定作業を、今回は、原研・物理部・核データセンターの原子分子データベースを利用したスペクトル線作図プログラムを使用することにより迅速化、信頼性向上を計ることができた。

2. 分 光 器

本分光写真は、JT-60の分光計測システム²⁾の内、可視域絶対測光基準サブシステム³⁾により行った。本サブシステムはJT-60真空容器の中心を通り垂直な光軸をもち、そこからの光を集光し分光計測を行う。図1に、分光系の構成図を模式的に示す。プラズマ光は、窓ガラスを通り集光レンズで入射スリットに結像する。測定波長範囲が紫外域まで至るので、ガラスはすべて石英ガラスを使用し、反射鏡は、紫外域から可視域で高反射率を有するAlにMgF₂のコーテン

グを行ったものを使用している。

本サブシステムで用いられている分光器は、焦点距離500mmのツェルニターナー型分光器 (NIKON G500)である。表1に主要性能を示す。図2にその光学系を示す。本分光器は、平面回折格子を利用し単色計としても分光写真器としても、最も広く使用されている形式である。

ここで、本分光器に関する主要なパラメーターについて以下に記す。図2のように、入射角 α 、出射角 β 、および $2\phi = \beta - \alpha$ とすると、

$$\sin \alpha + \sin \beta = \frac{m\lambda}{d}$$

の回折の式が与えられる。

また、この分光器では、 $2\phi = \alpha - \beta = 21.4^\circ$ としている。

但し、 α 、 β は回折格子の垂線から左回りに角度を計ることとする。 $(0 > \alpha > \beta >)$ m は、回折の次数(ここでは、 $m = -1$) λ は波長、 d は格子定数を表す。ここで λ_0 、 β_0 を分光器の設定波長、回折角とし、 l を λ_0 の結像位置からの距離、 f を焦点距離とすると、

$$l = f \tan (\beta - \beta_0) \simeq f (\beta - \beta_0)$$

$$\beta = \sin^{-1} (\lambda/d - \sin (\beta_0 + 2\phi))$$

$$\frac{d\lambda}{d\ell} = \frac{d}{f} \cos \beta$$

と表わされる。

写真撮影は、KODAK社製スペクトロスコピックプレート(103-F)，サイズ9×12cmの乾板を用いて、下記の条件のもとで各々撮影した。

① 乾板No.E 860805 1986. 8. 5~8. 6

設定波長 2300 Å

ショットNo.E 1811~E1833

全て、ダイバータ放電

露光時間 200 sec

② 乾板No.E 860611-2 1986. 6.11~6.12

設定波長 3200 Å

ショットNo.E 1411~E1452 (内ディスラプション2)

リミター方電1，他全て、ダイバータ放電

露光時間 644 sec

③ 乾板No.E 860721-2 1986. 7.21~7.22

設定波長 4300 Å

ショットNo.E 1719~E1753 (内ディスラプション1)

リミターよりダイバータ放電への切換ショット4，他全てダイバータ放電

露光時間 200 sec

なお、入口スリット巾は、10 μm，入口スリットの高さは、8 mmとし、その他プラズマ条件

は、全てジュール実験で、トロイダル磁場 3.0～4.5 テスラ、プラズマ電流 0.5～2.0 MA、最大平均電子密度は、 $8 \times 10^{19} \text{m}^{-3}$ まででプラズマ中心部の電子温度は、2 keV 程度までの実験条件であった。

3. 波長同定と結果

我々は、今回乾板上での波長の位置を決定するために、あらかじめ水銀のスペクトル線を乾板上に、スリット長を変えて写しておき、同定の基準とした。また、スペクトル線の同定方法として、計算機を用いて各イオンの波長、強度のデータテーブルよりスペクトル線を出力した図を利用した。作図プログラムの X 軸方向は、実際の乾板のマイクロフォトトレースと同じ縮尺で表現し、Y 軸方向には強度をとった。使用した波長データ及びプログラムは、物理部・核データセンター作成によるものである。今回は、Ti, C, O の元素について作図し同定に利用した。これらの図は、極めてよく写真と対応し同定結果の信頼性は確信できるものとなった。作図例を、図 3 に示す。図 6～図 16 にスペクトル写真のマイクロフォトトレースと同定結果を示す。

これらのスペクトル線のプロファイルから 3 価電離までの多くのチタンのスペクトル線と、4 価電離までの酸素、炭素のスペクトル線及び 1 価のニッケルとクロムのスペクトル線が同定された。又、チタンについては、Ti XVII, XIX の禁制線のスペクトル線についても同定された。

CV については、三重項の準安定状態へ遷移する $2s^3S_1 - 2p^3P$ のスペクトル ($2270.91 \sim 2277.92 \text{ \AA}$) が強く、C IV, II では、角運動量の最っとも大きいレベル間での遷移 (C IV $4f^2F - 5g^2G$ 2529.98 \AA , C II $3d^2D - 4f^2F$ $4267.258, 003 \text{ \AA}$) が見られる。C III でも、準安定状態への遷移 ($3s^3S_1 - 3p^3P_2$ 4647.42 \AA) の他、二電子励起のレベルからのスペクトル ($2s2p^1P_1 - 2p^2D_2$ 2296.87 \AA) が確認できた。酸素については、2 価及び 3 価電離のイオンの、主量子数 n が 3 のレベル間でのスペクトルが多く見られる。O V でも、三重項の準安定なレベルへの遷移 ($3s^3S_1 - 3p^3P$ $2781.04 \sim 2789.86 \text{ \AA}$) に伴うスペクトル線が強い。その他の、O II の弱いスペクトルが写っている。チタンについては、 $n \geq 4$ のレベル間のスペクトルが数多く見られる。特に Ti I, II, III では、内殻に 3 d 電子を持つ為、スペクトルは大変複雑となる。又、今回の実験では、他に、Ni, Cr が見られたが、Mo, Cl, N については、対応するスペクトルはない。

以上の様に、可視域で捉え得るスペクトルは、当然ながら軽元素及び低電離のイオンからの幅射に限られている。従って、JT-60 の様な高温プラズマでは、それらのスペクトルからは、プラズマの極周辺の状態の情報が得られる。実際、 C^{+3} , O^{+3} , Ti^{+3} のイオン化ポテンシャルは、100 eV にもならず、それらのイオン及びそれ以下の電離度のイオンからのスペクトルは、ダイバータ放電の時は、スクレイプ・オフ層及びプラズマの極周辺で光っていると思われる。又、CV でも、主プラズマの表面から 6 cm 程度内側で分布していると考えられる。従って、これらスペクトルからは、不純物の流入等、周辺の情報が得られる。

上記の理由で可視域の光では、主プラズマ自体の診断は困難となるが、本写真撮影で観測され

は、全てジュール実験で、トロイダル磁場 3.0~4.5 テスラ、プラズマ電流 0.5~2.0 MA、最大平均電子密度は、 $8 \times 10^{19} \text{m}^{-3}$ まででプラズマ中心部の電子温度は、2 keV 程度までの実験条件であった。

3. 波長同定と結果

我々は、今回乾板上での波長の位置を決定するために、あらかじめ水銀のスペクトル線を乾板上に、スリット長を変えて写しておき、同定の基準とした。また、スペクトル線の同定方法として、計算機を用いて各イオンの波長、強度のデータテーブルよりスペクトル線を出力した図を利用した。作図プログラムの X 軸方向は、実際の乾板のマイクロフォトトレースと同じ縮尺で表現し、Y 軸方向には強度をとった。使用した波長データ及びプログラムは、物理部・核データセンター作成によるものである。今回は、Ti, C, O の元素について作図し同定に利用した。これらの図は、極めてよく写真と対応し同定結果の信頼性は確信できるものとなった。作図例を、図 3 に示す。図 6~図 16 にスペクトル写真のマイクロフォトトレースと同定結果を示す。

これらのスペクトル線のプロファイルから 3 価電離までの多くのチタンのスペクトル線と、4 価電離までの酸素、炭素のスペクトル線及び 1 価のニッケルとクロムのスペクトル線が同定された。又、チタンについては、Ti XVII, XIX の禁制線のスペクトル線についても同定された。

CV については、三重項の準安定状態へ遷移する $2s^3S_1 - 2p^3P$ のスペクトル ($2270.91 \sim 2277.92 \text{ \AA}$) が強く、CIV, II では、角運動量の最っとも大きいレベル間での遷移 (CIV $4f^2F - 5g^2G$ 2529.98 \AA , C II $3d^2D - 4f^2F$ $4267.258, 003 \text{ \AA}$) が見られる。C III でも、準安定状態への遷移 ($3s^3S_1 - 3p^3P_2$ 4647.42 \AA) の他、二電子励起のレベルからのスペクトル ($2s2p^1P_1 - 2p^2D_2$ 2296.87 \AA) が確認できた。酸素については、2 価及び 3 価電離のイオンの、主量子数 n が 3 のレベル間でのスペクトルが多く見られる。O V でも、三重項の準安定なレベルへの遷移 ($3s^3S_1 - 3p^3P$ $2781.04 \sim 2789.86 \text{ \AA}$) に伴うスペクトル線が強い。その他の、O II の弱いスペクトルが写っている。チタンについては、 $n \geq 4$ のレベル間のスペクトルが数多く見られる。特に Ti I, II, III では、内殻に 3 d 電子を持つ為、スペクトルは大変複雑となる。又、今回の実験では、他に、Ni, Cr が見られたが、Mo, Cl, N については、対応するスペクトルはない。

以上の様に、可視域で捉え得るスペクトルは、当然ながら軽元素及び低電離のイオンからの幅射に限られている。従って、JT-60 の様な高温プラズマでは、それらのスペクトルからは、プラズマの極周辺の状態の情報が得られる。実際、 C^{+3} , O^{+3} , Ti^{+3} のイオン化ポテンシャルは、100 eV にもならず、それらのイオン及びそれ以下の電離度のイオンからのスペクトルは、ダイバータ放電の時は、スクレイプ・オフ層及びプラズマの極周辺で光っていると思われる。又、CV でも、主プラズマの表面から 6 cm 程度内側で分布していると考えられる。従って、これらスペクトルからは、不純物の流入等、周辺の情報得られる。

上記の理由で可視域の光では、主プラズマ自体の診断は困難となるが、本写真撮影で観測され

たチタンの高電離イオンの禁制線 (Ti XVII 38344 Å, Ti XIX 23446 Å) は、下記の理由で主プラズマの診断に非常に有効である。図4, 5に1次元不純物解析コード⁴⁾で計算したチタンの各イオンの空間分布を示す。この計算は、電子密度分布を、 $n_e(r) = 4.5 \times 10^{19} (1 - (r/a)^2)^{0.3}$, 電子温度分布を、 $T_e(r) = 2000 (1 - (r/a)^2)^{1.5}$ プラズマ小半径を、0.84mで行なったものである。輸送係数はフラックス Γ_k , 移流速度 v_A を

$$\Gamma_k = -D_A \frac{dn_k}{dr} + y_A n_k$$

$$v_A = -C_v D_A \frac{2r}{a^2}$$

と表現して、 D_A (拡散係数) = 1.0m²/sec, C_v (ピーキングファクター) = 0.0で計算した⁵⁾。但し、ここで n_k は、各イオンの密度を表わす。図4の様に、Ti⁺¹⁸はプラズマ半径の $r/a=0.69$, Ti⁺¹⁶は、 $r/a=0.76$ 付近に主に分布していると予想される。又、この2本の禁制線は、実際に光電測光を行なった結果十分な光量であった。従って、このスペクトルを利用すれば、プラズマのイオン温度⁶⁾, チタンの量⁷⁾ プラズマの回転速度の測定などが、可視光で行う事が可能である。

また、本分光器では、可視連続光の強度より、プラズマの実効電荷数 (Z_{eff}) を測定している。その場合には、 $5232.6 \text{ Å} \pm 6.1 \text{ Å}$ で観測しているが、図16からわかるようにこの範囲ではスペクトル線の影響は問題ない事が本分光写真より確認された。

4. 結 言

以上、今回の可視域の写真撮影で次のことが明らかになった。

- 1) インコネル625から成る真空容器内のライナの主な材質であるNi, Cr, Mo, Fe, リミタ材のMo, それらのコーティングに用いられているTi, C, 壁に吸着していると考えられるO, N及び洗浄材に含まれるCl等の中で、今回3価までのTi, 4価までのC, Oと1価のCr, Niの低電離イオンのスペクトル線が捉えられた。しかし、今回のジュール実験では、Mo, Fe, Cl, Nについては観測されなかった。
- 2) 高電離イオンのスペクトル線, Ti XVII 38344 Å, Ti XIX 23446 Å が捉えられた。これらは、プラズマのイオン温度, チタン量, プラズマの回転速度の測定に有効となる。
- 3) プラズマの実効電荷数 (Z_{eff}) を求めるための可視域連続光は、 $5232.6 \pm 6.1 \text{ Å}$ で測定できる。

今後、図6~16のマイクロフォトトレースと同定結果はプラズマの分光測定において有益な基礎データとなる。

たチタンの高電離イオンの禁制線 (Ti XVII 38344 Å, Ti XIX 23446 Å) は、下記の理由で主プラズマの診断に非常に有効である。図4, 5に1次元不純物解析コード⁴⁾で計算したチタンの各イオンの空間分布を示す。この計算は、電子密度分布を、 $n_e(r) = 4.5 \times 10^{19} (1 - (r/a)^2)^{0.3}$, 電子温度分布を、 $T_e(r) = 2000 (1 - (r/a)^2)^{1.5}$ プラズマ小半径を、0.84mで行なったものである。輸送係数はフラックス Γ_k , 移流速度 v_A を

$$\Gamma_k = -D_A \frac{dn_k}{dr} + y_A n_k$$

$$v_A = -C_v D_A \frac{2r}{a^2}$$

と表現して、 D_A (拡散係数) = 1.0m²/sec, C_v (ピーキングファクター) = 0.0で計算した⁵⁾。但し、ここで n_k は、各イオンの密度を表わす。図4の様に、Ti⁺¹⁸はプラズマ半径の $r/a=0.69$, Ti⁺¹⁶は、 $r/a=0.76$ 付近に主に分布していると予想される。又、この2本の禁制線は、実際に光電測光を行なった結果十分な光量であった。従って、このスペクトルを利用すれば、プラズマのイオン温度⁶⁾, チタンの量⁷⁾ プラズマの回転速度の測定などが、可視光で行う事が可能である。

また、本分光器では、可視連続光の強度より、プラズマの実効電荷数 (Z_{eff}) を測定している。その場合には、 $5232.6 \text{ Å} \pm 6.1 \text{ Å}$ で観測しているが、図16からわかるようにこの範囲ではスペクトル線の影響は問題ない事が本分光写真より確認された。

4. 結 言

以上、今回の可視域の写真撮影で次のことが明らかになった。

- 1) インコネル625から成る真空容器内のライナの主な材質であるNi, Cr, Mo, Fe, リミタ材のMo, それらのコーティングに用いられているTi, C, 壁に吸着していると考えられるO, N及び洗浄材に含まれるCl等の中で、今回3価までのTi, 4価までのC, Oと1価のCr, Niの低電離イオンのスペクトル線が捉えられた。しかし、今回のジュール実験では、Mo, Fe, Cl, Nについては観測されなかった。
- 2) 高電離イオンのスペクトル線, Ti XVII 38344 Å, Ti XIX 23446 Å が捉えられた。これらは、プラズマのイオン温度, チタン量, プラズマの回転速度の測定に有効となる。
- 3) プラズマの実効電荷数 (Z_{eff}) を求めるための可視域連続光は、 $5232.6 \pm 6.1 \text{ Å}$ で測定できる。

今後、図6~16のマイクロフォトトレースと同定結果はプラズマの分光測定において有益な基礎データとなる。

謝 辞

本報告を終るにあたり、準備段階から種々議論及び助力をいただいた竹内 浩氏、鈴木康夫臨
界プラズマ計測開発室長、田村早苗臨界プラズマ研究次長、吉川允二臨界プラズマ研究部長に感
謝します。また、原子分子データ利用に際して助力いただいた核データセンター白井稔三氏、舟
竹良雄氏及び、中井洋太原子分子研究室長に感謝いたします。最後に J T - 60 装置の運転に関し、
J T - 60 実験チームの関係諸氏に感謝いたします。

参 考 文 献

- 1) H. W. Drawin, Phys. Scr., 24 (1981), 622
- 2) 杉江達夫 他, 応用物理 53 (1984) 1020
- 3) 久保博孝 他, 未公開資料 (1986)
- 4) T. Hirayama, et al., Library system for One Dimensional Tokamak
Transport Code, Japan Atomic Energy Research Institute Report,
JAERI-M 82-204 (1982) (In Japanese)
- 5) T. Hirayama, et al., Impurity Transport in Ohmically Heated JT-60
Plasma, Japan Atomic Energy Research Institute Report, JAERI-M
86-161 (1986)
- 6) 佐藤国憲 分光研究 32 (1983) 157
- 7) S. Suckewer, et al., Nucl. Fusion 19 (1979) 1681

謝 辞

本報告を終るにあたり、準備段階から種々議論及び助力をいただいた竹内 浩氏、鈴木康夫臨
界プラズマ計測開発室長、田村早苗臨界プラズマ研究次長、吉川允二臨界プラズマ研究部長に感
謝します。また、原子分子データ利用に際して助力いただいた核データセンター白井稔三氏、舟
竹良雄氏及び、中井洋太原子分子研究室長に感謝いたします。最後に J T - 60 装置の運転に関し、
J T - 60 実験チームの関係諸氏に感謝いたします。

参 考 文 献

- 1) H. W. Drawin, Phys. Scr., 24 (1981), 622
- 2) 杉江達夫 他, 応用物理 53 (1984) 1020
- 3) 久保博孝 他, 未公開資料 (1986)
- 4) T. Hirayama, et al., Library system for One Dimensional Tokamak
Transport Code, Japan Atomic Energy Research Institute Report,
JAERI-M 82-204 (1982) (In Japanese)
- 5) T. Hirayama, et al., Impurity Transport in Ohmically Heated JT-60
Plasma, Japan Atomic Energy Research Institute Report, JAERI-M
86-161 (1986)
- 6) 佐藤国憲 分光研究 32 (1983) 157
- 7) S. Suckewer, et al., Nucl. Fusion 19 (1979) 1681

表1 Nikon G500の主要性能

焦点距離	500 mm
波長分解能	0.1 nm
逆線分散	1.5nm/mm
開口数	8.5
平面回折格子 溝数 ブレード波長 線引面積	1200本/mm 250 nm 52 × 52 mm
入射スリット 幅 高さ	0.01 ~ 1 mm 2 ~ 20 mm
出射スリット 幅 高さ	0.01 ~ 1 mm 2 ~ 20 mm
写真撮影 乾板 フィルム	96 mm (144 mm) 36 mm (54 mm)

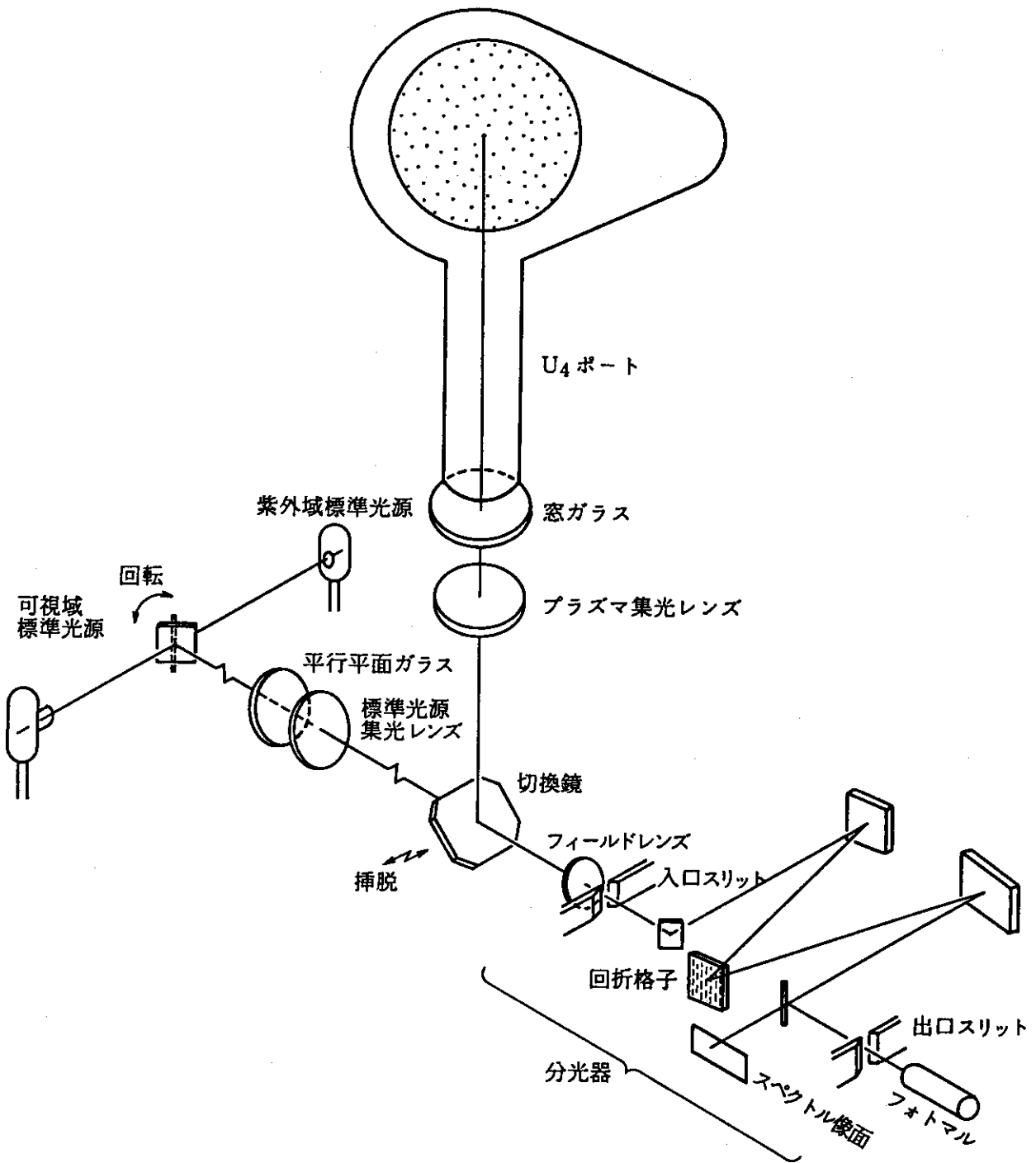


図1 光学系の構成図

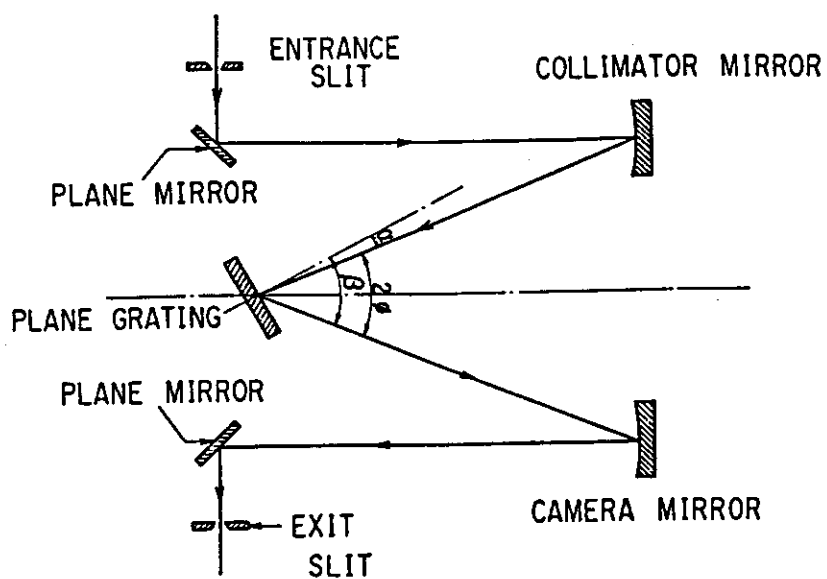
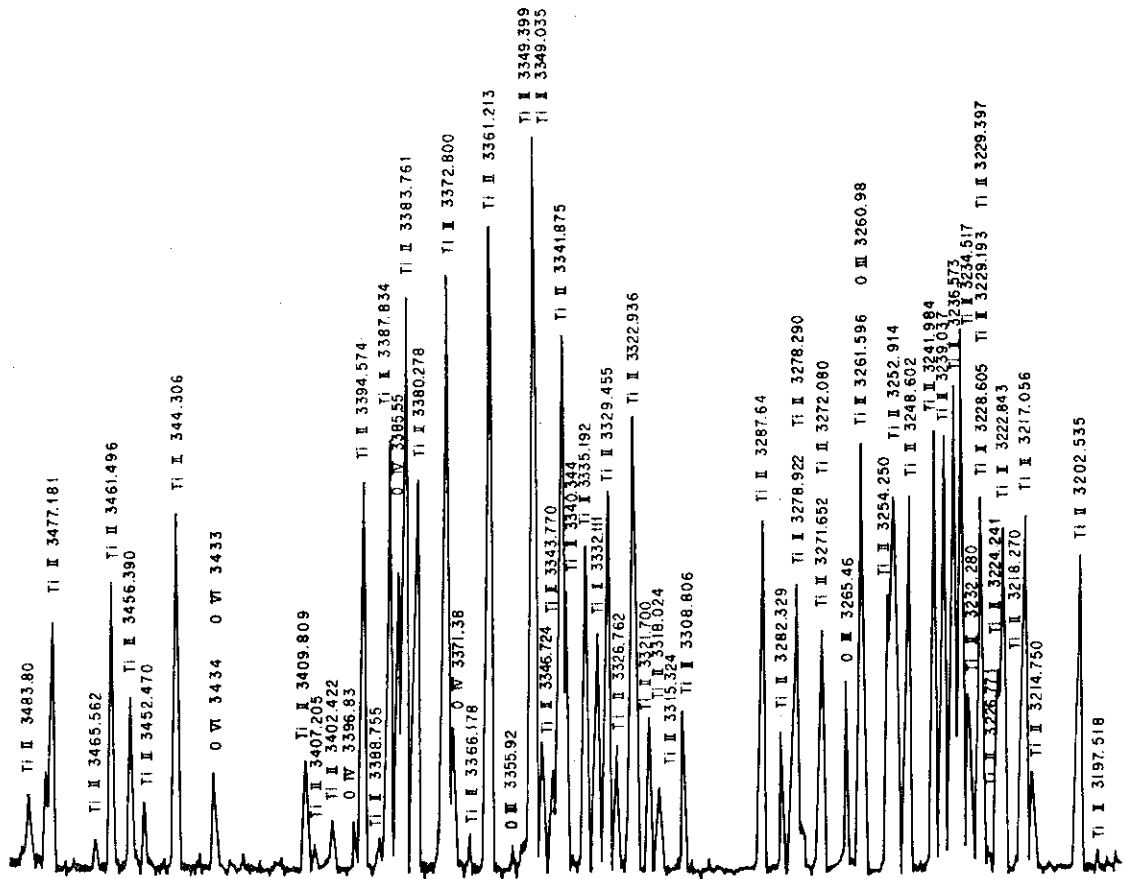
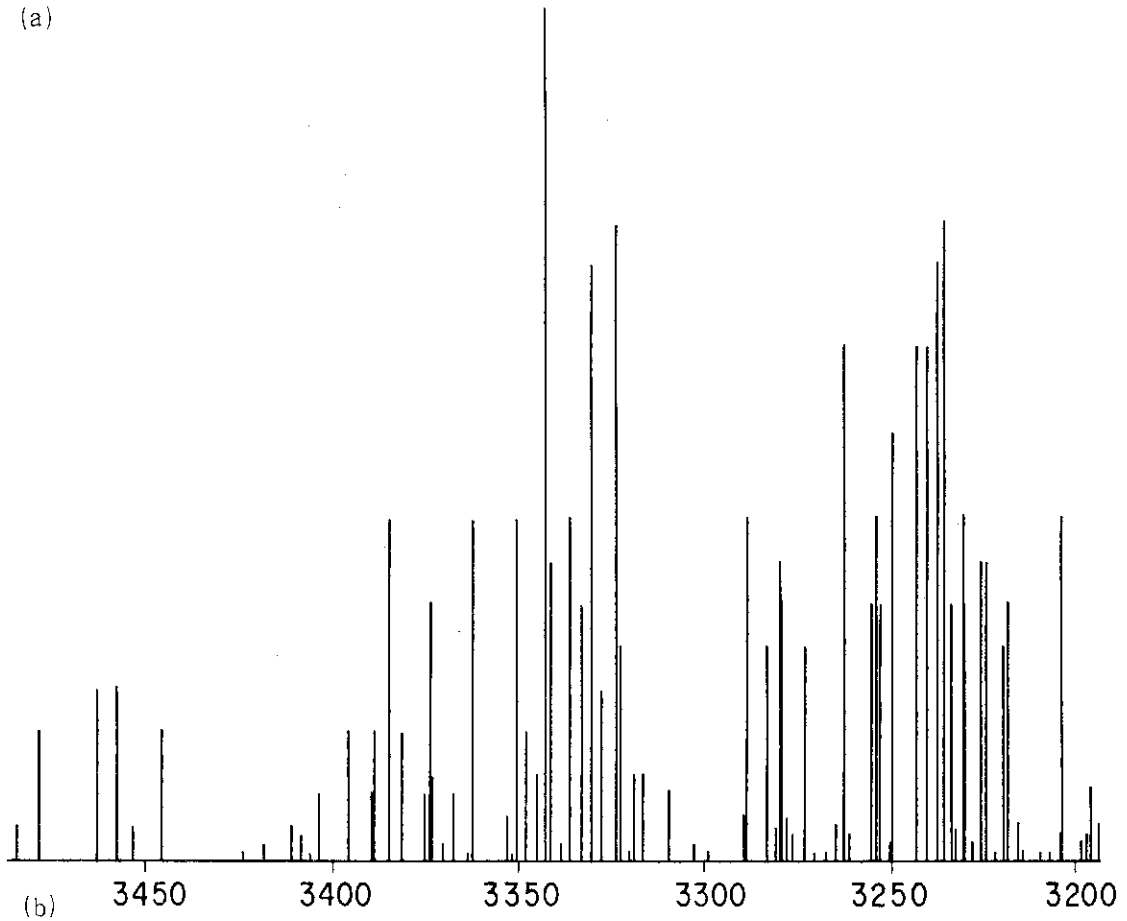


図2 ツェルニターナー型分光器の光学系



(a)



(b)

図3 写真乾板の(a)マイクロフォトトレースと(b)計算機によるスペクトラム (Ti II)出力図 (設定波長 3200 Å, 拡大率 10)

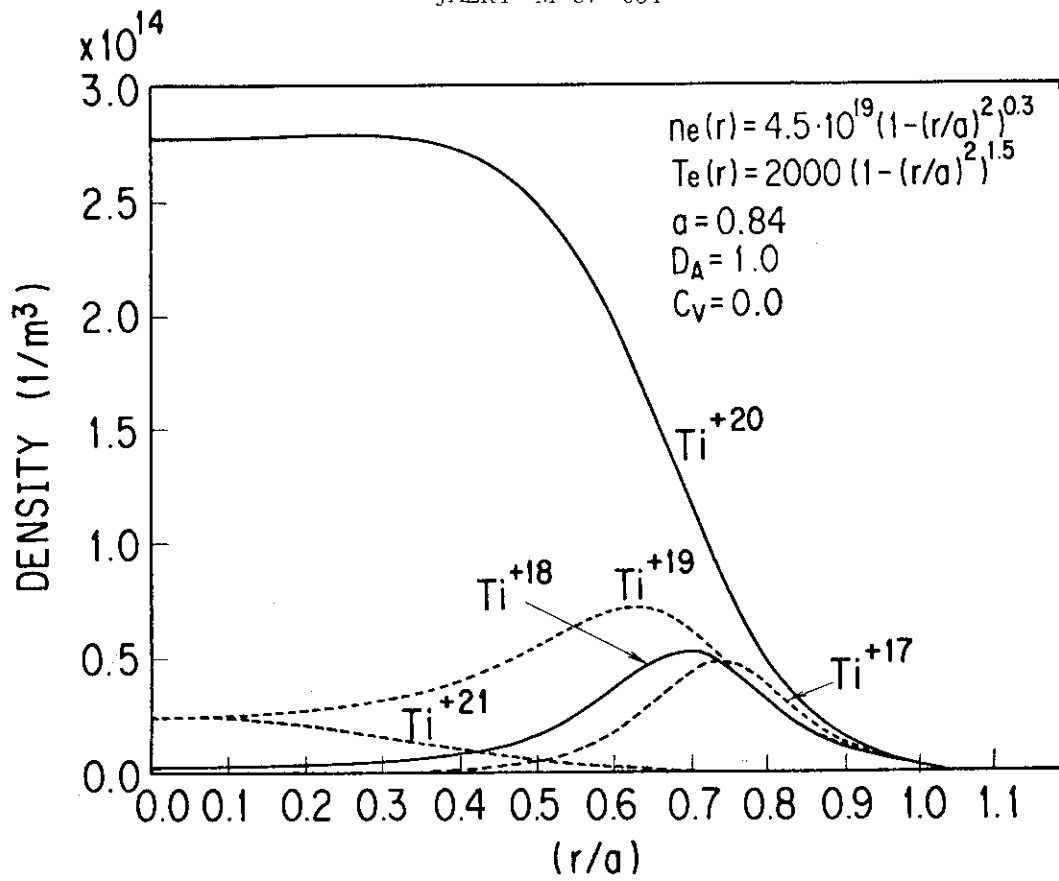


図4 T_i の各電離度のイオン分布 (T_i XVIII - T_i XXII)

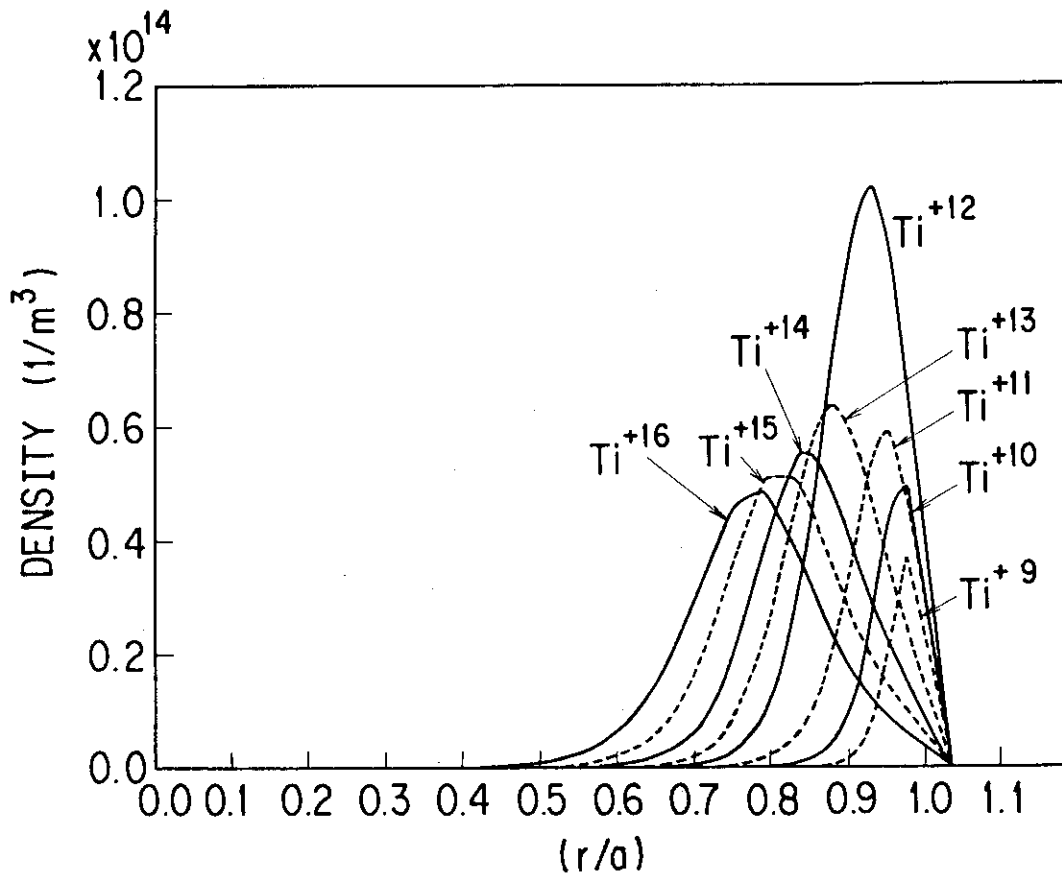


図5 T_i の各電離度のイオン分布 (T_i X - T_i XVII)

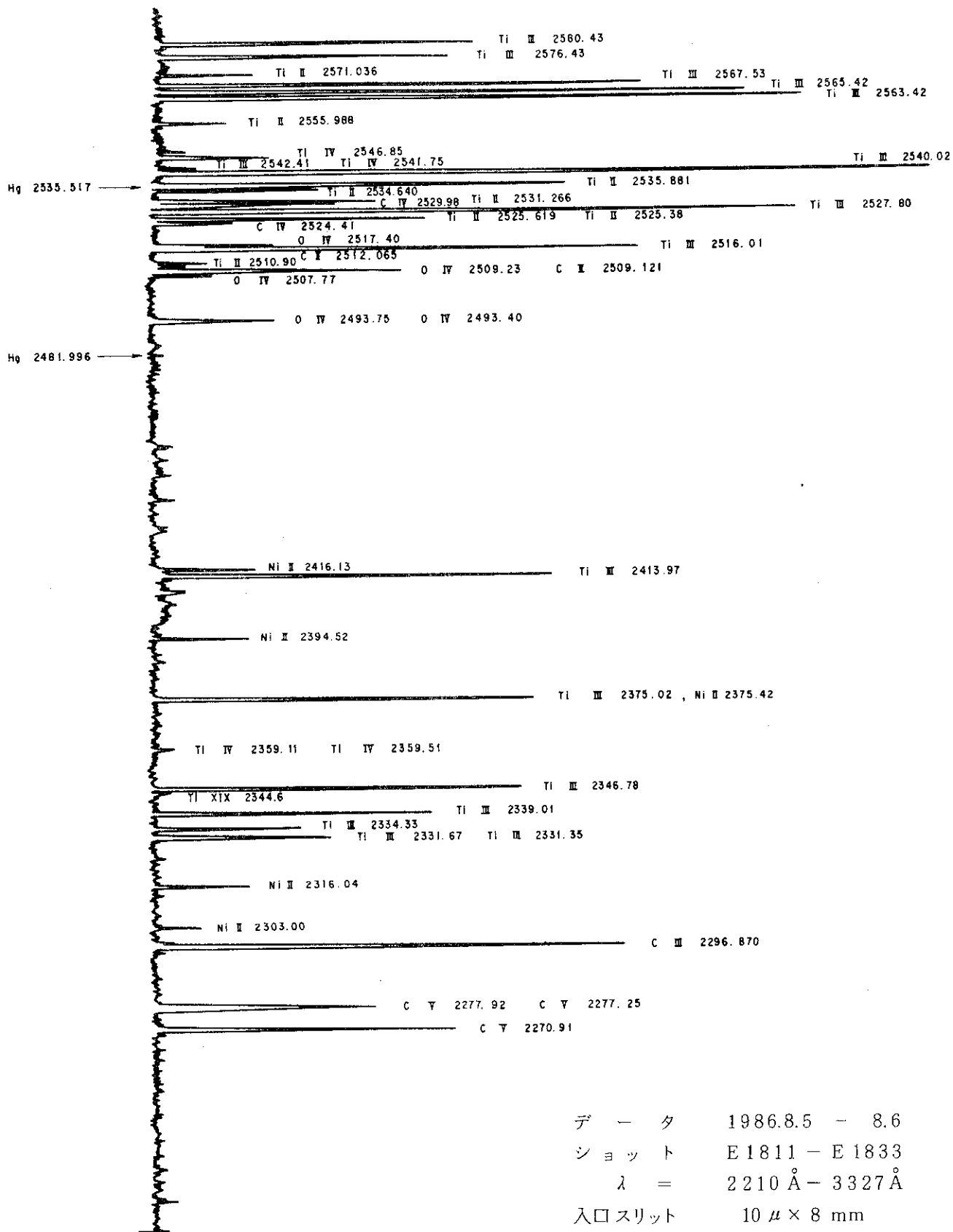


図6 波長範囲 (2210 Å - 2590 Å) でのマイクロフォトトレースと同定結果

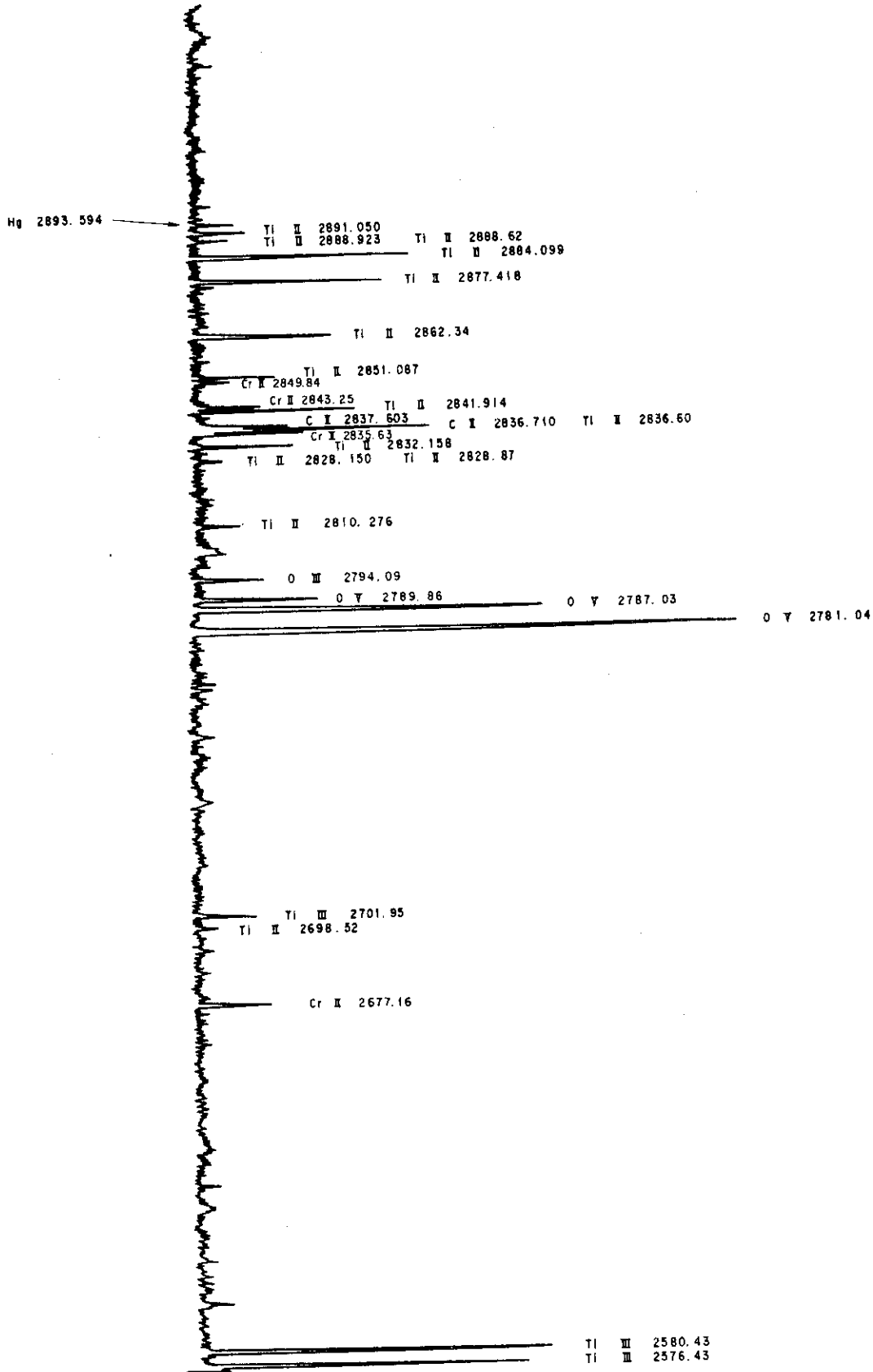


図7 波長範囲 (2576 Å - 2955 Å) でのマイクロフォトトレースと同定結果

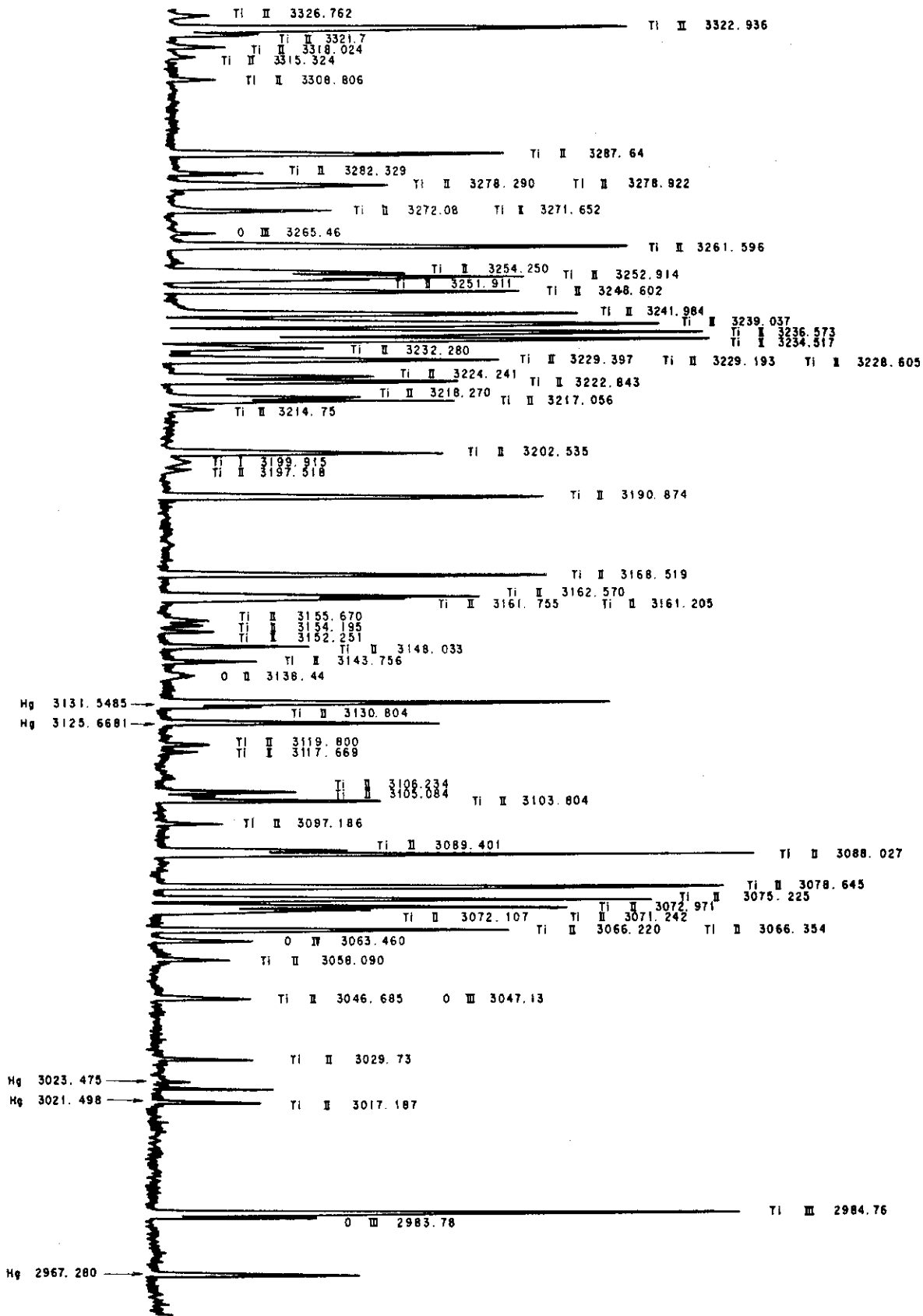
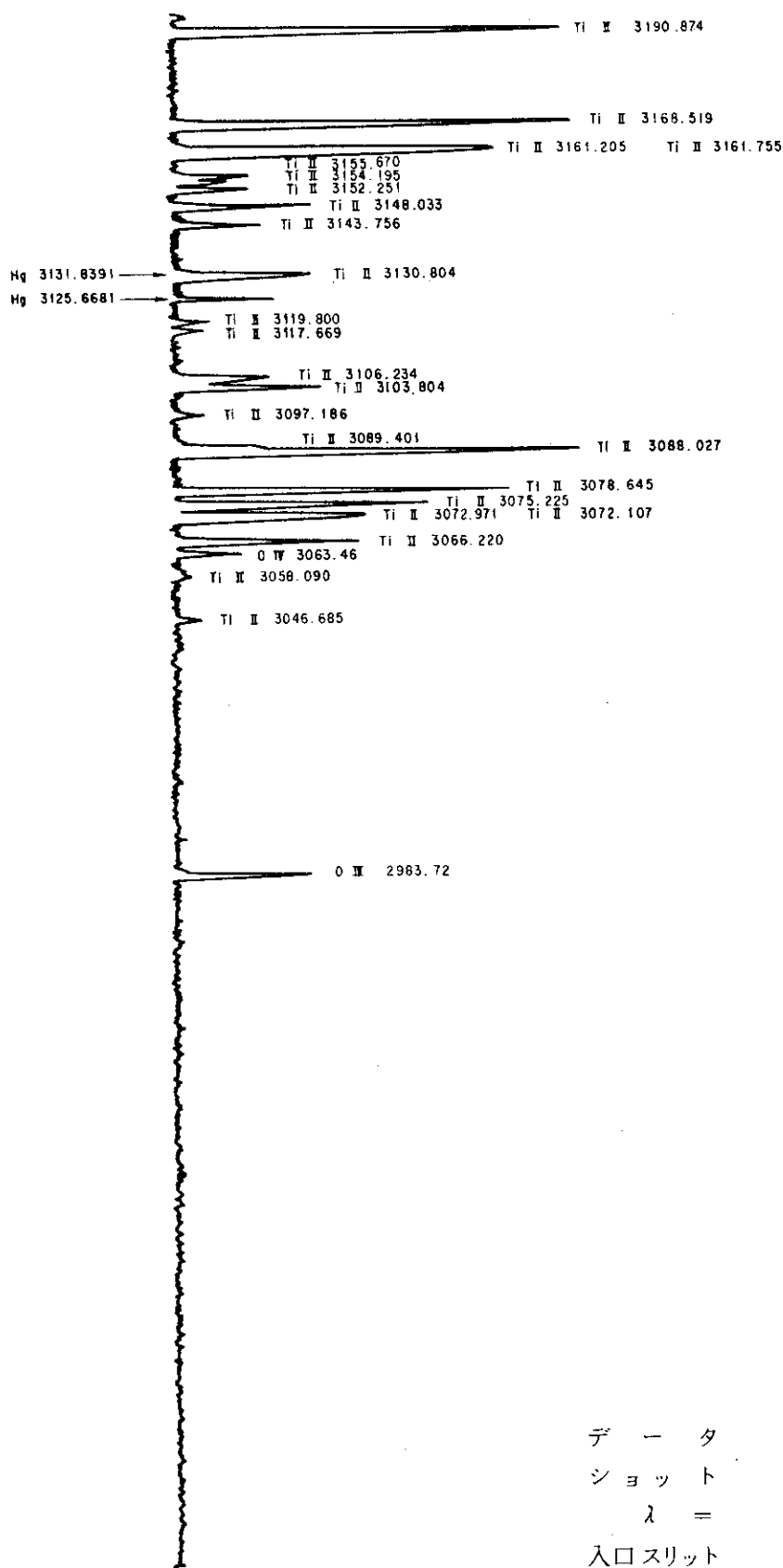


図8 波長範囲(2955 Å-3327 Å)でのマイクロフォトリースと同定結果



データ 1986.6.11 - 6.12
 ショット E1411 - E1452
 λ = 2820 Å - 3920 Å
 入口スリット 10 μ × 8 mm

図9 波長範囲 (2820 Å - 3192 Å) でのマイクロフォトトレースと同定結果

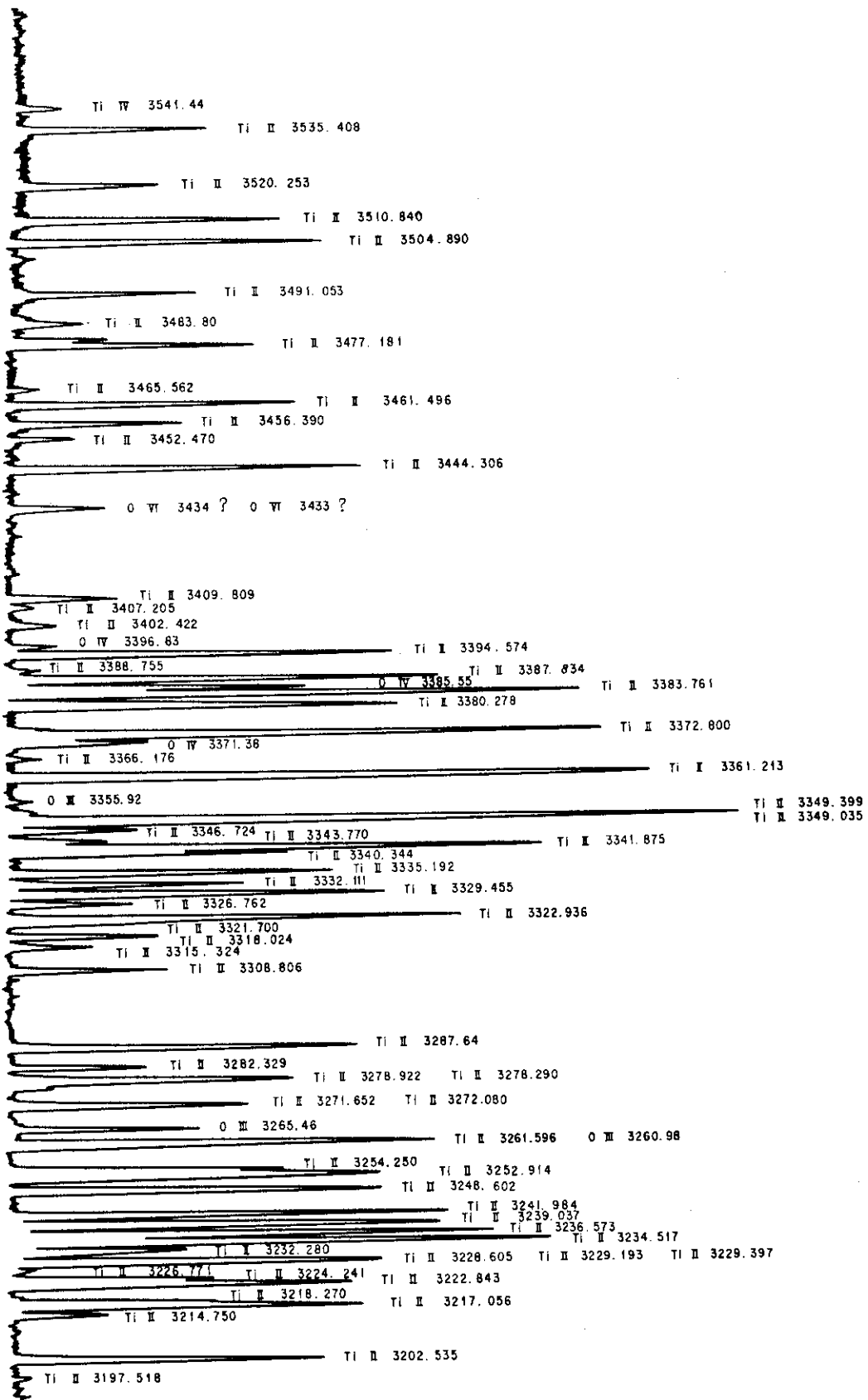


図10 波長範囲 (3192 Å - 3560 Å) でのマイクロフォトトレースと同定結果

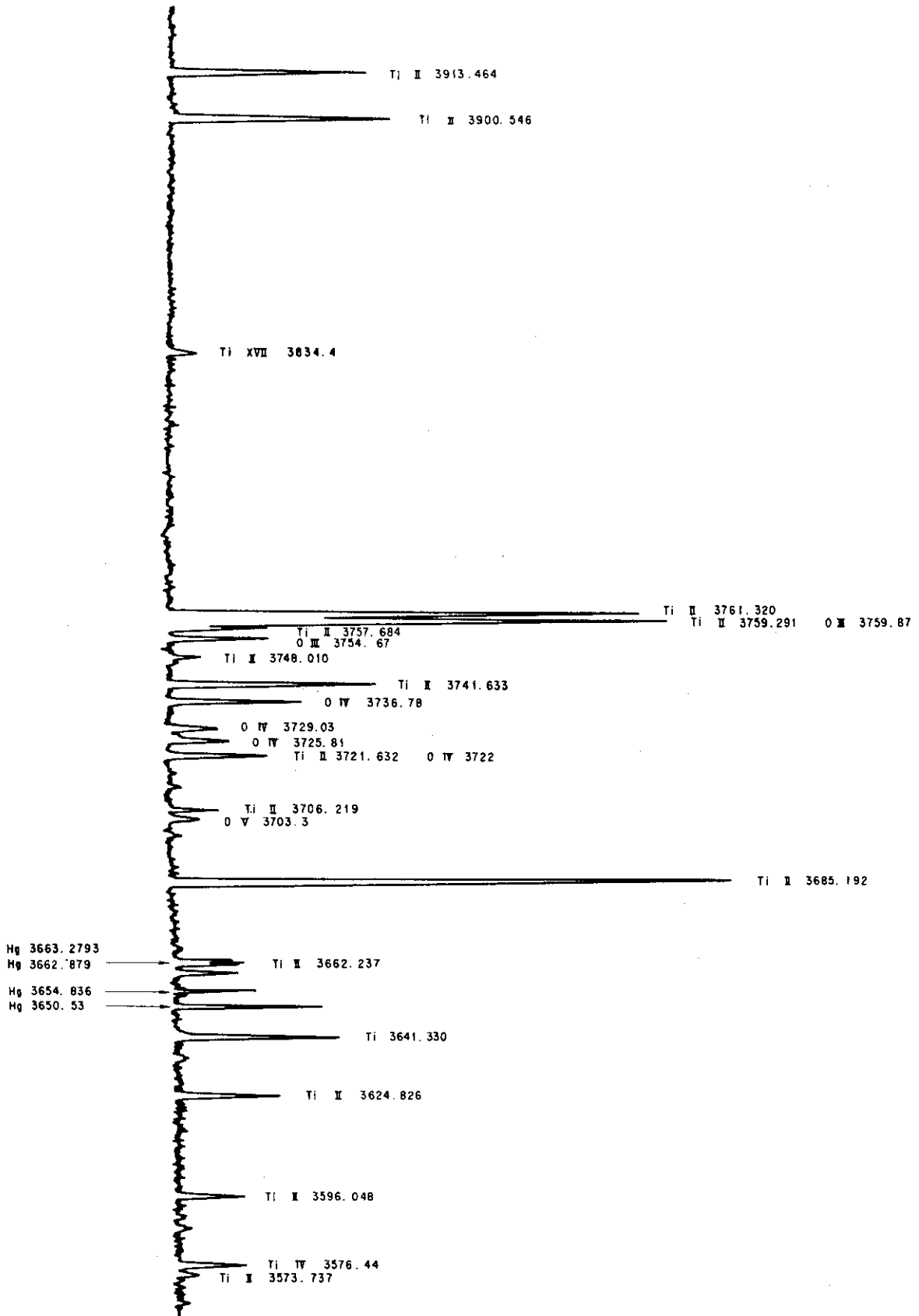


図 11 波長範囲 (3560 Å - 3920 Å) でのマイクロフォトトレースと同定結果

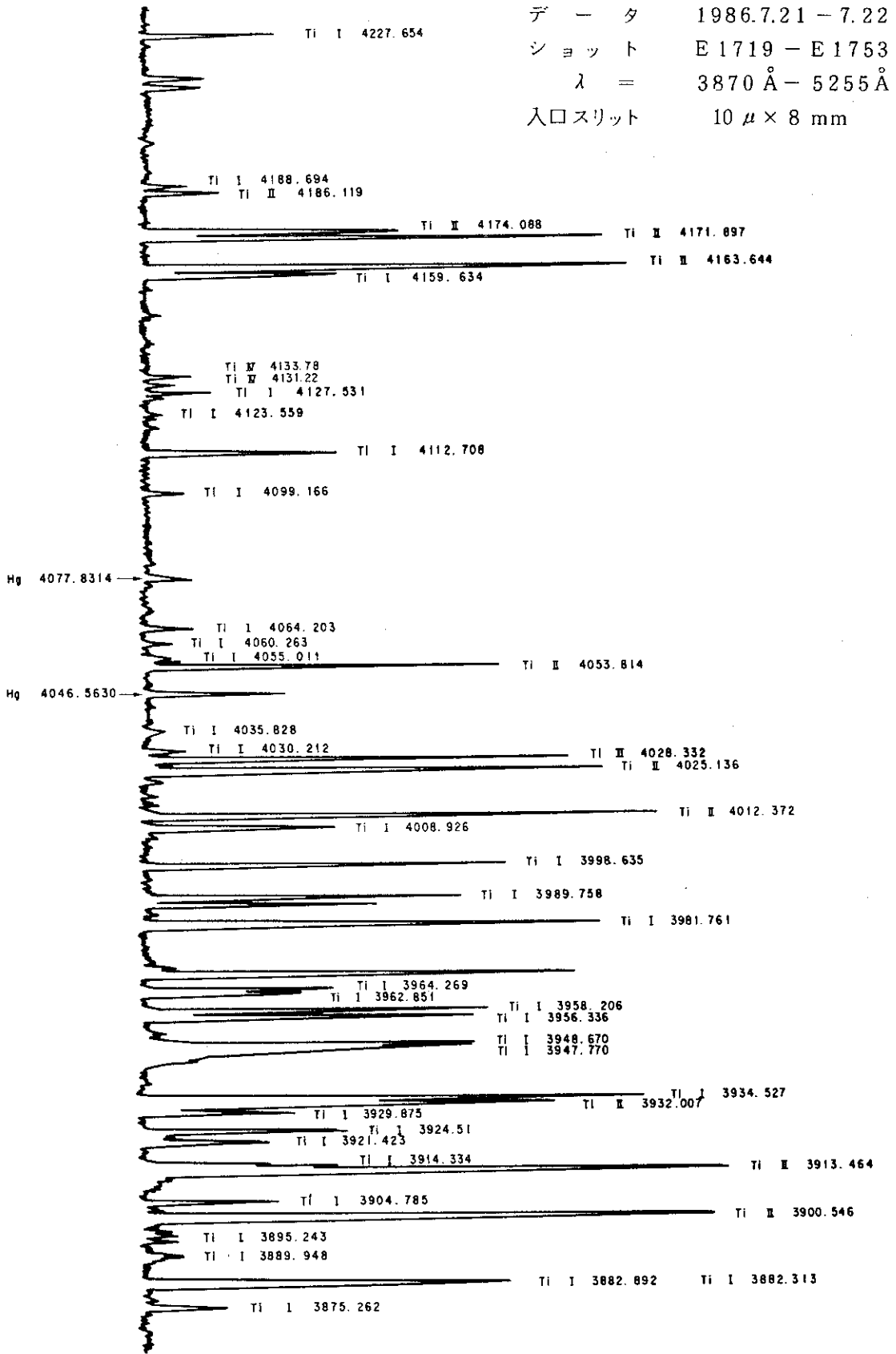


図 12 波長範囲 (3870 Å - 4230 Å) でのマイクロフォトトレースと同定結果

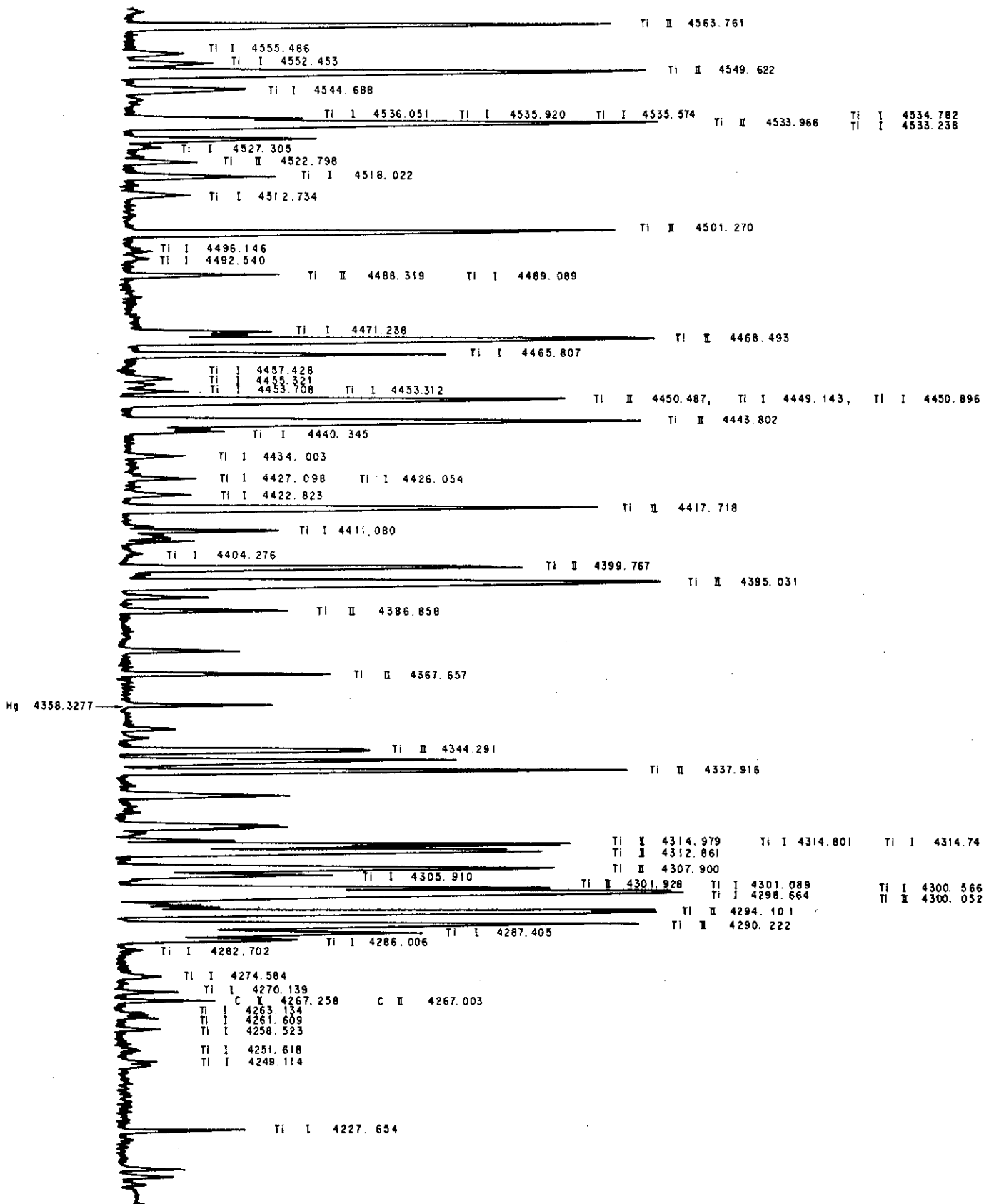


図 13 波長範囲 (4220 Å - 4565 Å) でのマイクロフォトトレースと同定結果

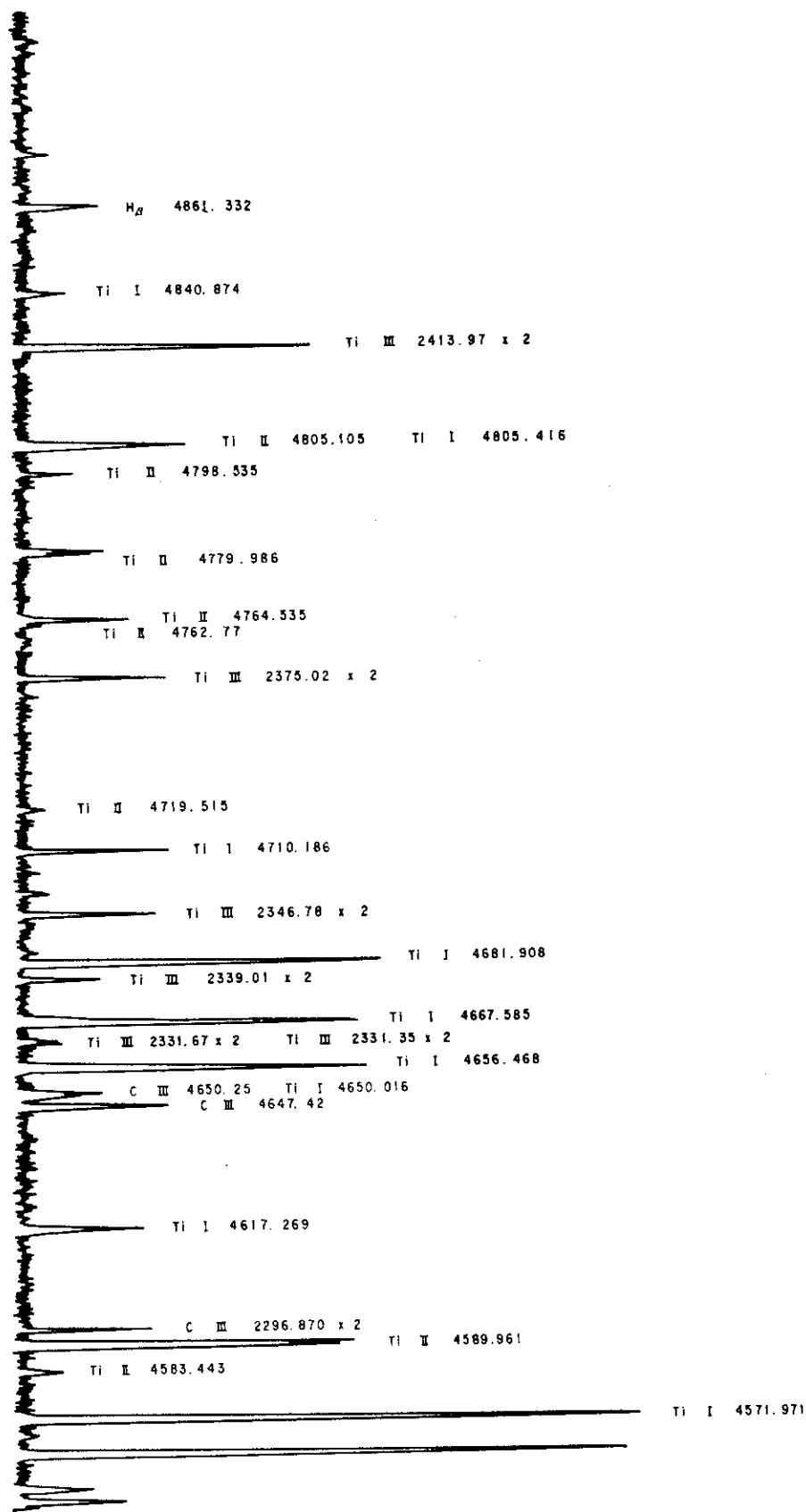


図 14 波長範囲 (4550 Å - 4895 Å) でのマイクロフォトレースと同定結果

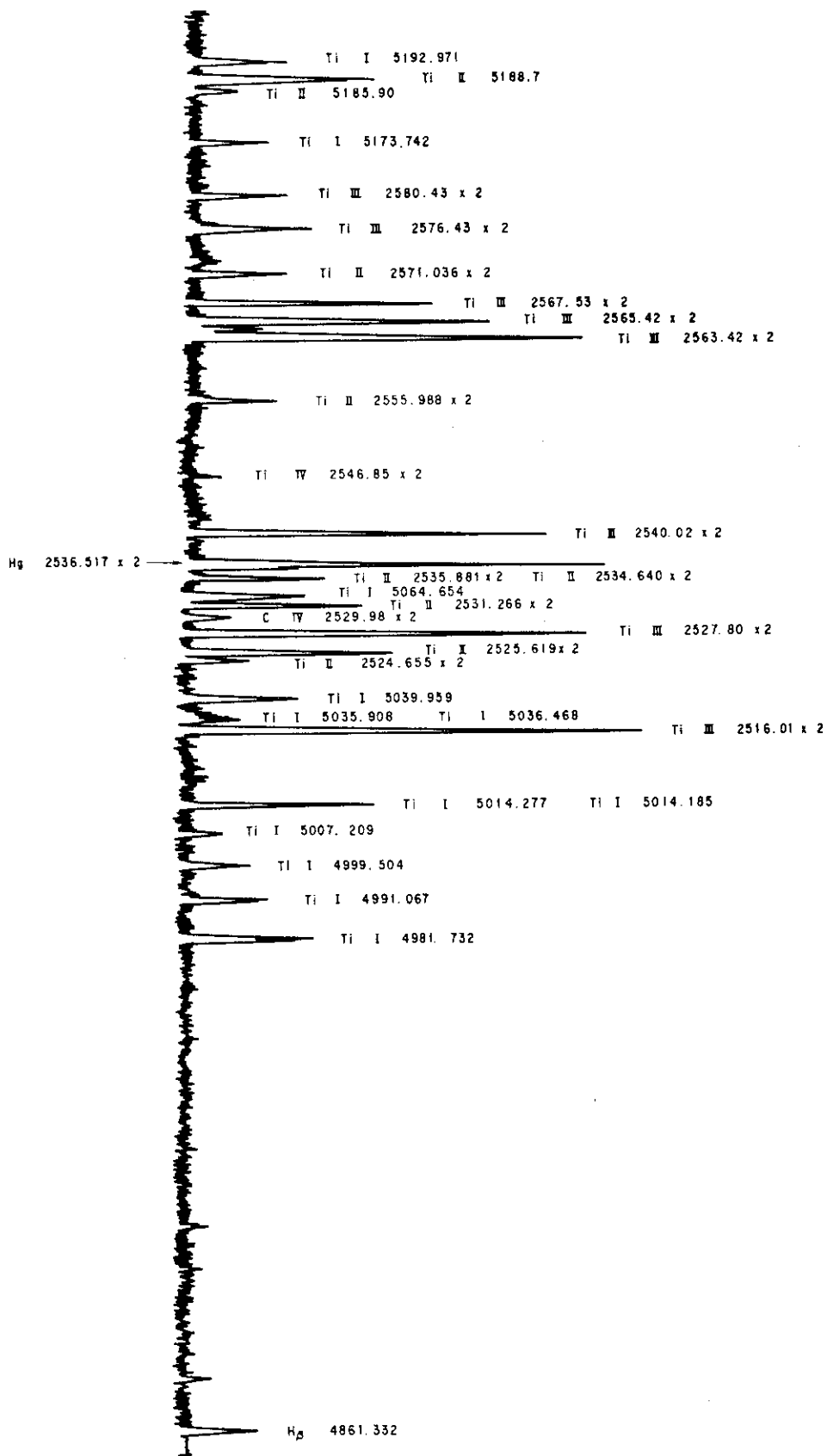


図 15 波長範囲 (4860 Å - 5195 Å) でのマイクロフォトトレースと同定結果

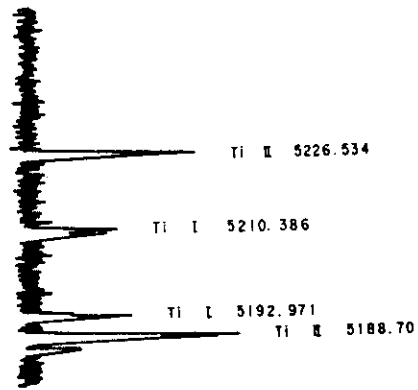


図 16 波長範囲 (5180 Å - 5255 Å) でのマイクロフォトトレースと同定結果