

JAERI - M  
92-168

セシウム添加型負イオン源における  
プラズマ電極の仕事関数測定

1992年11月

鈴木 靖生・花田磨砂也・奥村 義和・田中 政信

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。  
入手の間合わせは、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, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken 319-11, Japan.

© Japan Atomic Energy Research Institute, 1992

---

編集兼発行 日本原子力研究所  
印 刷 株式会社原子力資料サービス

セシウム添加型負イオン源におけるプラズマ電極の仕事関数測定

日本原子力研究所那珂研究所核融合装置試験部

鈴木 靖生・花田磨砂也<sup>+</sup>・奥村義和<sup>+</sup>

田中 政信<sup>+</sup>

(1992年10月7日受理)

セシウム添加型負イオン源においてプラズマ電極の仕事関数をレーザー入射により測定し、プラズマ電極温度及びH<sup>-</sup>イオン電流との関係を調べた。電極上のレーザー入射位置を変えながら光電子電流測定を行い、添加したセシウムはアーク放電を続けることによりプラズマ電極上に一様となることが明らかになった。また、プラズマ電極の温度上昇とともに仕事関数は減少し、電極の温度が260℃で1.75eVと見積もられた。原研のマルチアンペア負イオン源を用いてH<sup>-</sup>イオン電流と仕事関数の依存性を調べた結果、仕事関数の低下とともにH<sup>-</sup>イオン電流は急激に増加し、H<sup>-</sup>イオン電流が最大するとき仕事関数は約1.8eVまで低下していることが確認された。これらの現象はセシウムを添加したときのH<sup>-</sup>イオン電流の増加と良く一致する。

Measurement of Work Function of a Plasma Grid  
in a Cesium Seeded Negative Ion Source

Yasuo SUZUKI, Masaya HANADA<sup>+</sup>, Yoshikazu OKUMURA<sup>+</sup>  
and Masanobu TANAKA<sup>+</sup>

Department of Fusion Facility  
Naka Fusion Research Establishment  
Japan Atomic Energy Research Institute  
Naka-machi, Naka-gun, Ibaraki-ken

(Received October 7, 1992)

Work function of a plasma grid in a cesium seeded negative ion source was measured by Las. photo-emission technique. We have investigated the relation between the work function and the  $H^-$  ion current as well as the temperature of the plasma grid. Changing the position of the Laser incidence, we found that a uniform cesium layer was formed over the plasma grid by continuous arc discharge. The work function was decreased with temperature rise of the plasma grid. The minimum work function was estimated to be 1.75 eV at 260°C. Dependence of the  $H^-$  ion current on the work function was investigated in the JAERI Multi-Ampere  $H^-$  ion source. As a result, it was confirmed that the  $H^-$  ion current increased rapidly as the work function decreased. When the  $H^-$  ion current was the maximum, the work function was found to be about 1.8 eV. These dependences agree with  $H^-$  ion current rise induced by cesium seeding.

Keyword: Work Function, Plasma Grid, Cesium, Negative Ion Source,  
Laser, Volume Production

---

<sup>+</sup> Department of Fusion Engineering Research

## 目 次

1. はじめに .....	1
2. 実験装置と測定 .....	1
2.1 実験装置 .....	1
2.2 仕事関数の測定方法 .....	2
3. 実験結果と考察 .....	2
3.1 仕事関数測定のための光電子電流の基本特性 .....	2
3.2 仕事関数のモリブデンターゲット温度依存性 .....	3
3.3 セシウム層の一様性 .....	3
3.4 セシウム層形成金属が異なる場合の仕事関数の相違 .....	3
3.5 異なる導入温度による光電子電流の時間変化 .....	4
3.6 H <sup>-</sup> イオン電流と仕事関数の関係 .....	4
4. おわりに .....	5
謝 辞 .....	5
参考文献 .....	5

## Contents

1. Introduction .....	1
2. Experimental Setup and Procedure .....	1
2.1 Experimental Setup .....	1
2.2 Procedure .....	2
3. Experimental Results and Discussion .....	2
3.1 Basic Characteristic of Photoelectron Current .....	2
3.2 Dependence of Work Function on the Temperature of a Molybdenum Target .....	3
3.3 Uniformity of Cesium Layer .....	3
3.4 Cesium Seeding on Different Metals .....	3
3.5 Relation Between $H^-$ Ion Current and Work Function .....	4
3.6 Time Evolution of Photoelectron Current .....	4
4. Summary .....	5
Acknowledgment .....	5
References .....	5

## 1. はじめに

体積生成型負イオン源に微量のセシウム蒸気を混入すると著しく $H^-$ イオン電流が増加する。これは、プラズマ電極にセシウム層が形成されることにより金属表面の仕事関数が低くなり、 $H^-$ イオンが生成されるからであると考えられる。この生成方法を用いて、マルチアンペア負イオン源において50 keV, 10 A (37 mA/cm<sup>2</sup>)の $H^-$ イオンビームを発生した<sup>1)</sup>。また、長パルス負イオン源において50 keV, 0.52 A (14 mA/cm<sup>2</sup>), 1000秒の $H^-$ イオンビームを時間変化なく安定に発生した<sup>2)</sup>。しかし、上記とは異なる数種のプラズマ源にセシウムを添加したとき、その効果の大小及び再現性が不安定な場合がある。そこでセシウム添加についての客観的情報を少しでも多く得るためプラズマ電極上の仕事関数を測定することにした。これはレーザーをセシウム層が形成されたプラズマ電極表面に入射し、放出される光電子電流値より仕事関数を導き出すものである<sup>3)</sup>。

本論文では、まず小型プラズマ源を用いて光電子電流の基本特性及び仕事関数のプラズマ電極温度依存性を測定し、次にマルチアンペア負イオン源を用いて $H^-$ イオン電流と仕事関数の関係を調べた結果について報告する。

## 2. 実験装置と測定

### 2.1 実験装置

本実験は2種の実験装置を用いて行った。まず、セシウム添加の際の仕事関数について調べるため図2.1に示すようなプラズマ源と実験装置を用いた。プラズマ源は内径200 mm、深さ270 mmの円筒形である。放電室の周りには10極の直線状の磁石が配置され、カスプ磁場を形成している。下蓋にはプラズマ電極を模擬したセシウム付着用の100 mm×110 mm、厚さ0.3 mmのモリブデン製のターゲットが取り付けられている。ターゲット温度と仕事関数との関係を知るために、ターゲット上にアルメルクロメル製の熱電対を取り付けた。レーザー入射用の窓は上蓋にあり、グラスファイバーを介して光線をターゲットに照射した。プラズマ源側壁にはアーク放電用の1.2 mmφのWフィラメント一本とセシウム導入用のセシウムオープンが取り付けられている。

次に、仕事関数と $H^-$ イオン電流との相関についての知見を得るため、負イオン源テストスタンドITS-2Mにマルチアンペア負イオン源を装着して実験を行った。図2.2にマルチアンペア負イオン源<sup>1)</sup>の模式図を示す。プラズマ源は開口部面積240 mm×480 mm、深さ150 mmの矩形である。その周りの側壁には5極のNd磁石の列が囲み、上蓋には6極の磁石の列が構成される矩形多極磁場型放電容器である。上蓋にはプラズマ電極を直視する位置にレーザー入射用のガラス窓がありグラスファイバーからの光線はそこからプラズマ電極に照射される。しかし、アーク放電によるタングステン材の蒸着やセシウムの付着等からガラスのくもりを防ぐために、レーザー入射時以外は真空外から操作できる構造を持つシャッターを用いて閉じた。放電は8本のタングステンフィラメントにより生成した。また側壁末端の2列の磁石の磁界により磁気フィルターを形成した。一方、側壁にセシウムオープンを装着し、一定温度で導入チューブからプラズマ源内にセシウ

## 1. はじめに

体積生成型負イオン源に微量のセシウム蒸気を混入すると著しく $H^-$ イオン電流が増加する。これは、プラズマ電極にセシウム層が形成されることにより金属表面の仕事関数が低くなり、 $H^-$ イオンが生成されるからであると考えられる。この生成方法を用いて、マルチアンペア負イオン源において50 keV, 10 A (37 mA/cm<sup>2</sup>)の $H^-$ イオンビームを発生した<sup>1)</sup>。また、長パルス負イオン源において50 keV, 0.52 A (14 mA/cm<sup>2</sup>), 1000秒の $H^-$ イオンビームを時間変化なく安定に発生した<sup>2)</sup>。しかし、上記とは異なる数種のプラズマ源にセシウムを添加したとき、その効果の大小及び再現性が不安定な場合がある。そこでセシウム添加についての客観的情報を少しでも多く得るためプラズマ電極上の仕事関数を測定することにした。これはレーザーをセシウム層が形成されたプラズマ電極表面に入射し、放出される光電子電流値より仕事関数を導き出すものである<sup>3)</sup>。

本論文では、まず小型プラズマ源を用いて光電子電流の基本特性及び仕事関数のプラズマ電極温度依存性を測定し、次にマルチアンペア負イオン源を用いて $H^-$ イオン電流と仕事関数の関係を調べた結果について報告する。

## 2. 実験装置と測定

### 2.1 実験装置

本実験は2種の実験装置を用いて行った。まず、セシウム添加の際の仕事関数について調べるため図2.1に示すようなプラズマ源と実験装置を用いた。プラズマ源は内径200 mm、深さ270 mmの円筒形である。放電室の周りには10極の直線状の磁石が配置され、カスプ磁場を形成している。下蓋にはプラズマ電極を模擬したセシウム付着用の100 mm×110 mm、厚さ0.3 mmのモリブデン製のターゲットが取り付けられている。ターゲット温度と仕事関数との関係を知るために、ターゲット上にアルメルクロメル製の熱電対を取り付けた。レーザー入射用の窓は上蓋にあり、ガラスファイバーを介して光線をターゲットに照射した。プラズマ源側壁にはアーク放電用の1.2 mmφのWフィラメント一本とセシウム導入用のセシウムオープンが取り付けられている。

次に、仕事関数と $H^-$ イオン電流との相関についての知見を得るため、負イオン源テストスタンドITS-2Mにマルチアンペア負イオン源を装着して実験を行った。図2.2にマルチアンペア負イオン源<sup>1)</sup>の模式図を示す。プラズマ源は開口部面積240 mm×480 mm、深さ150 mmの矩形である。その周りの側壁には5極のNd磁石の列が囲み、上蓋には6極の磁石の列が構成される矩形多極磁場型放電容器である。上蓋にはプラズマ電極を直視する位置にレーザー入射用のガラス窓がありガラスファイバーからの光線はそこからプラズマ電極に照射される。しかし、アーク放電によるタングステン材の蒸着やセシウムの付着等からガラスのくもりを防ぐために、レーザー入射時以外は真空外から操作できる構造を持つシャッターを用いて閉じた。放電は8本のタングステンフィラメントにより生成した。また側壁末端の2列の磁石の磁界により磁気フィルターを形成した。一方、側壁にセシウムオープンを装着し、一定温度で導入チューブからプラズマ源内にセシウ



ムは導入された。

H<sup>-</sup>イオンはプラズマ源から絶縁された加速管に組み込まれた多孔型電極により引き出し、加速された。電極は4枚でありプラズマ源から順にプラズマ電極(PLG)、引き出し電極(EXG)、電子抑制電極(ESG)及び接地電極(GRG)と呼び、各々の電極の150mm×400mmの矩形の範囲には9mmφの孔が434個配置される。さらに引き出された電子は2枚目の電極であるEXGに埋め込まれた永久磁石により曲げられ熱的に処理され、引き出されたH<sup>-</sup>イオンのみがEXGとGRGに印加した電圧により加速された。

レーザーはAr<sup>+</sup>レーザーとHe-Neレーザーを用いた。Ar<sup>+</sup>レーザーはILT社製の5500Aを使用した。波長可変プリズムを装着して、457.9nm(2.71eV)、488nm(2.54eV)、及び514.5nm(2.41eV)を選択発振した。全波長発振(457.9nm~514.5nm)では30~300mWが出力でき、各々の波長の出力範囲は順に10~40mW、20~150mW、及び30~200mWである。He-NeレーザーはNEC製のGLG5410を使用した。波長は632.8nm(1.96eV)であり出力は11mWである。各波長のレーザー光線はコリメートレンズでガラスファイバーに集光した。

## 2.2 仕事関数の測定方法

仕事関数の変化はレーザーによる光電子放出を利用して測定した<sup>4)</sup>。エミッション値Yは次式で与えられる。

$$Y \propto (h\nu - \phi_w)^2 / (U_0 - h\nu)^{1/2}, \quad (\phi_w < h\nu)$$

$$Y = 0, \quad (h\nu < \phi_w)$$

$\phi_w$ は仕事関数、 $U_0$ は表面ポテンシャル障壁の高さ、 $h\nu$ は入射レーザーの持つエネルギーである。実験ではAr<sup>+</sup>レーザーとHe-Neレーザーを用いており、例えばAr<sup>+</sup>レーザー( $\lambda = 488\text{nm}$ )を入射すれば仕事関数 $\phi_w$ が2.54eV以下になると光電子がセシウム層から放出され、エミッション電流が流れる。測定は絶縁されたプラズマ電極とプラズマ源にバイアス電圧を印加することによりプラズマ電極から放出された光電子を捕獲した。仕事関数は、2~4種のエネルギーのレーザー入射による光電子電流値から上式を用いて近似した。なお、仕事関数の測定は運転停止直後に行った。

## 3. 実験結果と考察

### 3.1 仕事関数測定のための光電子電流の基本特性

特定のエネルギーを持ったレーザーを照射することによりターゲットから放出される光電子電流を捕獲するためには、ターゲットに対して絶縁されたプラズマ源に+のバイアス電圧をかける必要がある。この最適電圧を把握するため、図2.1に示す実験装置を用いて光電子電流のバイアス電圧依存性を測定した。オープンを300℃に昇温して10秒間セシウムをプラズマ源内に導入し、モリブデンのターゲットに付着させた。波長488nmのAr<sup>+</sup>レーザーをターゲットに入射してバ

ムは導入された。

H<sup>-</sup>イオンはプラズマ源から絶縁された加速管に組み込まれた多孔型電極により引き出し、加速された。電極は4枚でありプラズマ源から順にプラズマ電極(PLG)、引き出し電極(EXG)、電子抑制電極(ESG)及び接地電極(GRG)と呼び、各々の電極の150mm×400mmの矩形の範囲には9mmφの孔が434個配置される。さらに引き出された電子は2枚目の電極であるEXGに埋め込まれた永久磁石により曲げられ熱的に処理され、引き出されたH<sup>-</sup>イオンのみがEXGとGRGに印加した電圧により加速された。

レーザーはAr<sup>+</sup>レーザーとHe-Neレーザーを用いた。Ar<sup>+</sup>レーザーはILT社製の5500Aを使用した。波長可変プリズムを装着して、457.9nm(2.71eV)、488nm(2.54eV)、及び514.5nm(2.41eV)を選択発振した。全波長発振(457.9nm~514.5nm)では30~300mWが出力でき、各々の波長の出力範囲は順に10~40mW、20~150mW、及び30~200mWである。He-NeレーザーはNEC製のGLG5410を使用した。波長は632.8nm(1.96eV)であり出力は11mWである。各波長のレーザー光線はコリメートレンズでガラスファイバーに集光した。

## 2.2 仕事関数の測定方法

仕事関数の変化はレーザーによる光電子放出を利用して測定した<sup>4)</sup>。エミッション値Yは次式で与えられる。

$$Y \propto (h\nu - \phi_w)^2 / (U_0 - h\nu)^{1/2}, \quad (\phi_w < h\nu)$$

$$Y = 0, \quad (h\nu < \phi_w)$$

$\phi_w$ は仕事関数、 $U_0$ は表面ポテンシャル障壁の高さ、 $h\nu$ は入射レーザーの持つエネルギーである。実験ではAr<sup>+</sup>レーザーとHe-Neレーザーを用いており、例えばAr<sup>+</sup>レーザー( $\lambda = 488\text{nm}$ )を入射すれば仕事関数 $\phi_w$ が2.54eV以下になると光電子がセシウム層から放出され、エミッション電流が流れる。測定は絶縁されたプラズマ電極とプラズマ源にバイアス電圧を印加することによりプラズマ電極から放出された光電子を捕獲した。仕事関数は、2~4種のエネルギーのレーザー入射による光電子電流値から上式を用いて近似した。なお、仕事関数の測定は運転停止直後に行った。

## 3. 実験結果と考察

### 3.1 仕事関数測定のための光電子電流の基本特性

特定のエネルギーを持ったレーザーを照射することによりターゲットから放出される光電子電流を捕獲するためには、ターゲットに対して絶縁されたプラズマ源に+のバイアス電圧をかける必要がある。この最適電圧を把握するため、図2.1に示す実験装置を用いて光電子電流のバイアス電圧依存性を測定した。オープンを300℃に昇温して10秒間セシウムをプラズマ源内に導入し、モリブデンのターゲットに付着させた。波長488nmのAr<sup>+</sup>レーザーをターゲットに入射してバ

イアス電圧を変化させたときの光電子電流の変化を図3.1に示す。30V付近より光電子電流値が飽和した。30Vで十分なバイアス電圧であり、以下この値で測定した。また、図3.2に光電子電流のレーザー入射パワー依存性を示す。光電子電流は入射パワーに比例し線形に増加した。このことより、レーザーパワーが異なる場合においても、単位パワー当たりの光電子電流を算出することができ、直接比較することができる。

### 3.2 仕事関数のモリブデンターゲット温度依存性

セシウム添加実験の際H<sup>-</sup>イオン電流は、その層を形成したPLGの温度に大きく依存した<sup>5)</sup>。そこで、PLG温度が変化したときの仕事関数の測定を実施した。セシウムの効果が大きく現れるのはPLGの温度が200°C以上であることが知られている。実験では、プラズマ源内にセシウムを添加した後、アーク放電によりモリブデンターゲットを300°C以上に昇温し、温度が降下する途中の光電子電流値を測定した。その結果を図3.3に示す。波長488nmのAr<sup>+</sup>レーザー照射では光電子電流値は260°Cで飽和しており、その後温度の降下と共に徐々に減少した。一方、He-Neレーザー照射では250°Cで既に電流値は降下を始めて、ほぼ直線的に減少し、180°Cでエミッション値は零になった。2.2に示す方法により求めた仕事関数のターゲット温度依存性を図3.4に示す。ターゲット温度が180°Cでは仕事関数は1.96eVであるが、温度上昇に依存して徐々に減少し260°Cでは約1.75eVとなった。これはターゲット温度が260°Cのときに、表面に清浄なセシウムの単原子層が形成されているからであると考えられる。

### 3.3 セシウム層の一様性

核融合における負イオン源の実用化には十数A以上のH<sup>-</sup>イオン電流が出力できる大電流負イオン源が必要である。このような負イオン源では、大電流を発生させるために大面積からビームを引き出す必要がある。電流密度を高めるためにプラズマ源内にセシウムを添加した場合、電流値が引き出し面全面で均一なビームを発生させるためにPLG上のセシウム層の一様性が問題になる。

実験では100mm×110mmのモリブデンターゲット上のセシウム層の空間的一様性を測定した。図3.5(a)はアーク放電を印加していないプラズマ源内にセシウムを導入し、その直後に波長488nm、ビーム径3mmのAr<sup>+</sup>レーザーをターゲットに水平方向に移動させながら入射したときの光電子電流の出力波形である。プラズマ源に導入した直後に既にターゲットにセシウムが付着しているのがわかる。波形中央の電流値零の部分はターゲット中央の孔に相当し、その周辺部が多少電流値が高い、また、右端に電流値の高い部分が存在する。これはセシウムオープンがプラズマ源の右側にあり導入管に近い部分の方が多量に付着したからだと考えられる。図3.5(b)は2分間のアーク放電の後に上記同様にレーザーをスキャンさせた電流値の波形である。ターゲット上の電流値は一様になっており、実験に用いたターゲット程度の面積に一様なセシウム層を形成するのは容易であった。しかし、エミッション電流値が放電前と比較して全体に低いのはターゲットへのフィラメント材の付着、あるいは測定条件が多少異なるからであると考えられる。この結果より、導入されたセシウムはアーク放電を続けることにより電極上に均一になると考えられる。

### 3.4 セシウム層形成金属が異なる場合の仕事関数の相違

セシウムを付着させる金属が異なるときの仕事関数を比較するため、図2.1の装置のモリブデンターゲットの約1/3を45mm×100mm、厚さ0.5mmの銅板で覆い、同一条件におい

てセシウム付着層が形成され、なおかつ同じパワーのレーザーが入射されるようにした。図3.6にモリブデンと銅をレーザー入射ターゲットにしたときに放出される光電子の入射エネルギー依存性を示す。セシウム導入直後に測定した仕事関数はモリブデンが $\phi_w = 1.8 \text{ eV}$ であり、銅が $\phi_w = 2.1 \text{ eV}$ であった。セシウム付着金属の違いによる仕事関数の相違が存在し、モリブデンの方が明らかに仕事関数が低くなった。しかし、90秒のアーク放電後に再度測定したところモリブデンの仕事関数はほとんど銅と同じであった。この原因はフィラメント材であるタングステンの蒸着によるものであると推定される。

### 3.5 異なる導入温度による光電子電流の時間変化

原研でのこれまでのセシウム添加の方法は大体の導入量を把握するためオープン温度 $300^\circ\text{C}$ において10秒間導入バルブを開放し、プラズマ源内にセシウム蒸気を入射した。これより1回の導入で約 $0.1 \text{ g}$ のセシウムが添加されると見積もられた。しかし、この方法では操作を誤るとセシウムが必要以上に大量に導入される恐れがある。特に加速部へ流出し電極に多量に付着した場合、耐電圧が著しく低下することが考えられる。試験装置でのこのような事故であれば電極の取り外しが容易であるが、JT-60UのN-NBIを想定した場合数週間の運転停止は免れない。そこで図2.1の実験装置を用いて波長 $488 \text{ nm}$ の $\text{Ar}^+$ レーザーを連続入射し、これまで導入を行ってきたオープン温度 $300^\circ\text{C}$ 、温度を下げた $200^\circ\text{C}$ 、更に低温の $160^\circ\text{C}$ においてセシウム導入を行い光電子電流値の時間変化を測定した。図3.7にオープン温度 $300^\circ\text{C}$ 、 $200^\circ\text{C}$ 、及び $160^\circ\text{C}$ の設定においてセシウムを導入した場合の各温度における光電子電流値の時間変化を示す。なお、導入管部の温度は常に $300^\circ\text{C}$ に保って実験を行った。オープン温度 $300^\circ\text{C}$ において10秒間導入した場合はバルブ開放直後にエミッション電流が流れ始め、バルブ閉止後も約3分間は電流が増加を続け電流値は飽和した。これは配管内に滞留したセシウムがかなりあることを示し、バルブ閉止後もセシウムが導入されたと考えられる。本方法でセシウムを導入した場合バルブ閉止直後に配管及びバルブ温度を低下させることは配管内にセシウムを残留させ、配管詰まり等を招き十分なセシウムが導入されない恐れがある。 $200^\circ\text{C}$ の場合にはバルブ開放後約15分で導入が始まり30分でエミッション電流は飽和した。バルブ閉止後の光電子電流の増加は観察されなかった。配管内に滞留したセシウムはほとんどなく、オープンから出たセシウムは全て導入された。 $160^\circ\text{C}$ ではバルブ開放から約15分で導入が始まるが緩やかにエミッション電流が上昇し約90分後に飽和した。

### 3.6 $\text{H}^-$ イオン電流と仕事関数の関係

図2.2に示すマルチアンペア負イオン源を用いて $\text{H}^-$ イオン電流と仕事関数の関係を調べた。 $\text{H}^-$ イオンの引き出し条件は、加速電圧 $V_{acc} = 37.5 \text{ kV}$ であり、引き出し電圧 $V_{ext} = 2.5 \text{ kV}$ であった。また、この時のアーク電圧は $70 \text{ V}$ 、アーク電流は $200 \text{ A}$ 、プラズマ源内ガス圧は $0.61 \text{ Pa}$ であった。セシウムを添加しないときの $\text{H}^-$ イオン電流値は $0.8 \text{ A}$ 程度でありセシウムを添加することにより $2.1 \text{ A}$ まで増大した。図3.8に示すように $160^\circ\text{C}$ のオープン温度でセシウムを徐々に導入し、目標の電流値に到達してからイオン源運転停止直後にレーザー入射による仕事関数の測定を行った。図3.9に示すように $\text{H}^-$ イオン電流は仕事関数 $\phi_w$ が $2 \text{ eV}$ 近傍で急激に変化した。仕事関数と $\text{H}^-$ イオン電流との相関が大きいことがわかり、同測定方法により $\text{H}^-$ イオン電流に対する仕事関数の目安を把握することができた。

## 4. お わ り に

セシウムオープンを備えたマルチアンペア負イオン源と小型放電容器に異なるエネルギーのレーザーを入射し、プラズマ電極及びモリブデンターゲットの仕事関数を測定した。H<sup>-</sup>イオン電流は仕事関数の減少とともに増加した。本実験では仕事関数が約1.8 eVでH<sup>-</sup>イオン電流の最大であった。これによりH<sup>-</sup>イオン電流に対する仕事関数の目安を把握することができた。また、小型放電容器を用いた実験では、仕事関数のターゲット温度依存性を確認した。仕事関数はターゲットの温度とともに低下し、260℃において仕事関数は約1.75 eVと見積もられた。また、セシウム層の空間的一様性を測定し、アーク放電を続けることにより一様なセシウム層を形成することが明らかになった。これまで未知であったセシウム導入状態をモニターすることにより、オープン温度を低温にして徐々に導入し、最適量をプラズマ源内に添加することが可能であることを確認した。

## 謝 辞

本実験を遂行するにあたって、原子力エンジニアリング㈱の阿部宏幸氏には装置の運転、保守に多大の協力を頂きました。また、国枝俊介室長、栗山正明室長代理を始めとするNBI装置試験室及び小原祥裕室長を始めとするNBI加熱研究室の皆様は終始協力と有益な議論をして頂きましたことに感謝いたします。本研究遂行に際し、終始激励を頂いた、鹿園直基那珂研究所長、田中裕二核融合装置試験部長、及び島本進核融合工学部長に感謝致します。

## 参 考 文 献

- 1) Y. Okumura et al., Proc. 16th Symp. on Fusion Technology, London(1990)1026.
- 2) Y. Okumura et al., Rev. Sci. Instrum. 63/4, 2708(1992)
- 3) R. H. Fowler, Phys. Rev. 38(1931)45.
- 4) H. Yamaoka et al., Nucl. Instrum. Methods. B36(1989)227.
- 5) Y. Okumura et al., Proc. 13th Symp. on Ion Sources and Ion-Assisted Technology Tokyo(1990)149.

#### 4. お わ り に

セシウムオープンを備えたマルチアンペア負イオン源と小型放電容器に異なるエネルギーのレーザーを入射し、プラズマ電極及びモリブデンターゲットの仕事関数を測定した。H<sup>-</sup>イオン電流は仕事関数の減少とともに増加した。本実験では仕事関数が約1.8 eVでH<sup>-</sup>イオン電流の最大であった。これによりH<sup>-</sup>イオン電流に対する仕事関数の目安を把握することができた。また、小型放電容器を用いた実験では、仕事関数のターゲット温度依存性を確認した。仕事関数はターゲットの温度とともに低下し、260°Cにおいて仕事関数は約1.75 eVと見積もられた。また、セシウム層の空間的一様性を測定し、アーク放電を続けることにより一様なセシウム層を形成することが明らかになった。これまで未知であったセシウム導入状態をモニターすることにより、オープン温度を低温にして徐々に導入し、最適量をプラズマ源内に添加することが可能であることを確認した。

#### 謝 辞

本実験を遂行するにあたって、原子力エンジニアリング㈱の阿部宏幸氏には装置の運転、保守に多大の協力を頂きました。また、国枝俊介室長、栗山正明室長代理を始めとするNBI装置試験室及び小原祥裕室長を始めとするNBI加熱研究室の皆様は終始協力と有益な議論をして頂きましたことに感謝いたします。本研究遂行に際し、終始激励を頂いた、鹿園直基那珂研究所長、田中裕二核融合装置試験部長、及び島本進核融合工学部長に感謝致します。

#### 参 考 文 献

- 1) Y. Okumura et al., Proc. 16th Symp. on Fusion Technology, London(1990)1026.
- 2) Y. Okumura et al., Rev. Sci. Instrum. 63/4, 2708(1992)
- 3) R. H. Fowler, Phys. Rev. 38(1931)45.
- 4) H. Yamaoka et al., Nucl. Instrum. Methods. B36(1989)227.
- 5) Y. Okumura et al., Proc. 13th Symp. on Ion Sources and Ion-Assisted Technology Tokyo(1990)149.

## 4. お わ り に

セシウムオープンを備えたマルチアンペア負イオン源と小型放電容器に異なるエネルギーのレーザーを入射し、プラズマ電極及びモリブデンターゲットの仕事関数を測定した。H<sup>-</sup>イオン電流は仕事関数の減少とともに増加した。本実験では仕事関数が約1.8 eVでH<sup>-</sup>イオン電流の最大であった。これによりH<sup>-</sup>イオン電流に対する仕事関数の目安を把握することができた。また、小型放電容器を用いた実験では、仕事関数のターゲット温度依存性を確認した。仕事関数はターゲットの温度とともに低下し、260℃において仕事関数は約1.75 eVと見積もられた。また、セシウム層の空間的一様性を測定し、アーク放電を続けることにより一様なセシウム層を形成することが明らかになった。これまで未知であったセシウム導入状態をモニターすることにより、オープン温度を低温にして徐々に導入し、最適量をプラズマ源内に添加することが可能であることを確認した。

## 謝 辞

本実験を遂行するにあたって、原子力エンジニアリング(株)の阿部宏幸氏には装置の運転、保守に多大の協力を頂きました。また、国枝俊介室長、栗山正明室長代理を始めとするNBI装置試験室及び小原祥裕室長を始めとするNBI加熱研究室の皆様を終始協力と有益な議論をして頂きましたことに感謝いたします。本研究遂行に際し、終始激励を頂いた、鹿園直基那珂研究所長、田中裕二核融合装置試験部長、及び島本進核融合工学部長に感謝致します。

## 参 考 文 献

- 1) Y. Okumura et al., Proc. 16th Symp. on Fusion Technology, London(1990)1026.
- 2) Y. Okumura et al., Rev. Sci. Instrum. 63/4, 2708(1992)
- 3) R. H. Fowler, Phys. Rev. 38(1931)45.
- 4) H. Yamaoka et al., Nucl. Instrum. Methods. B36(1989)227.
- 5) Y. Okumura et al., Proc. 13th Symp. on Ion Sources and Ion-Assisted Technology Tokyo(1990)149.

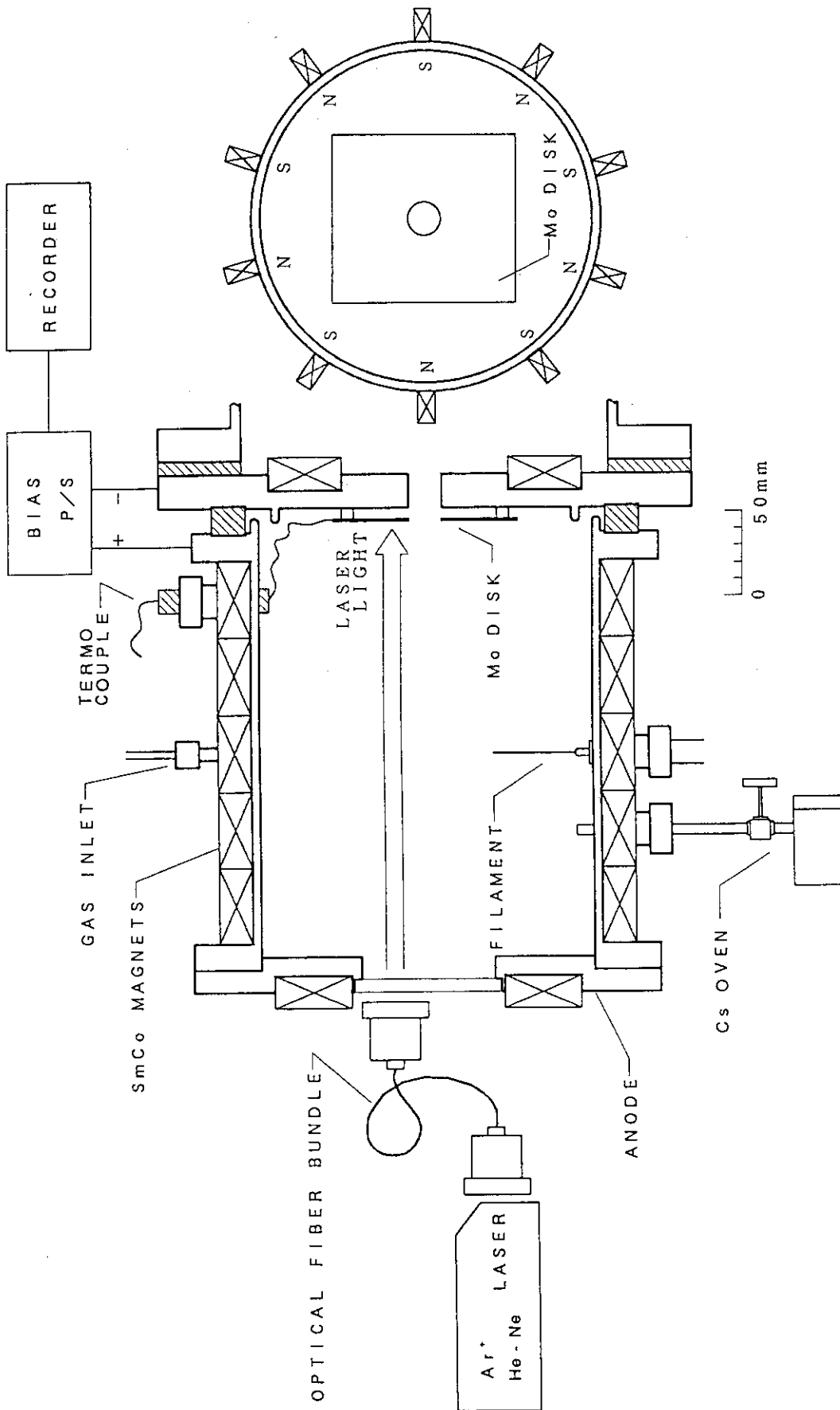


図 2.1 仕事関数基礎実験用小型プラズマ源模式図



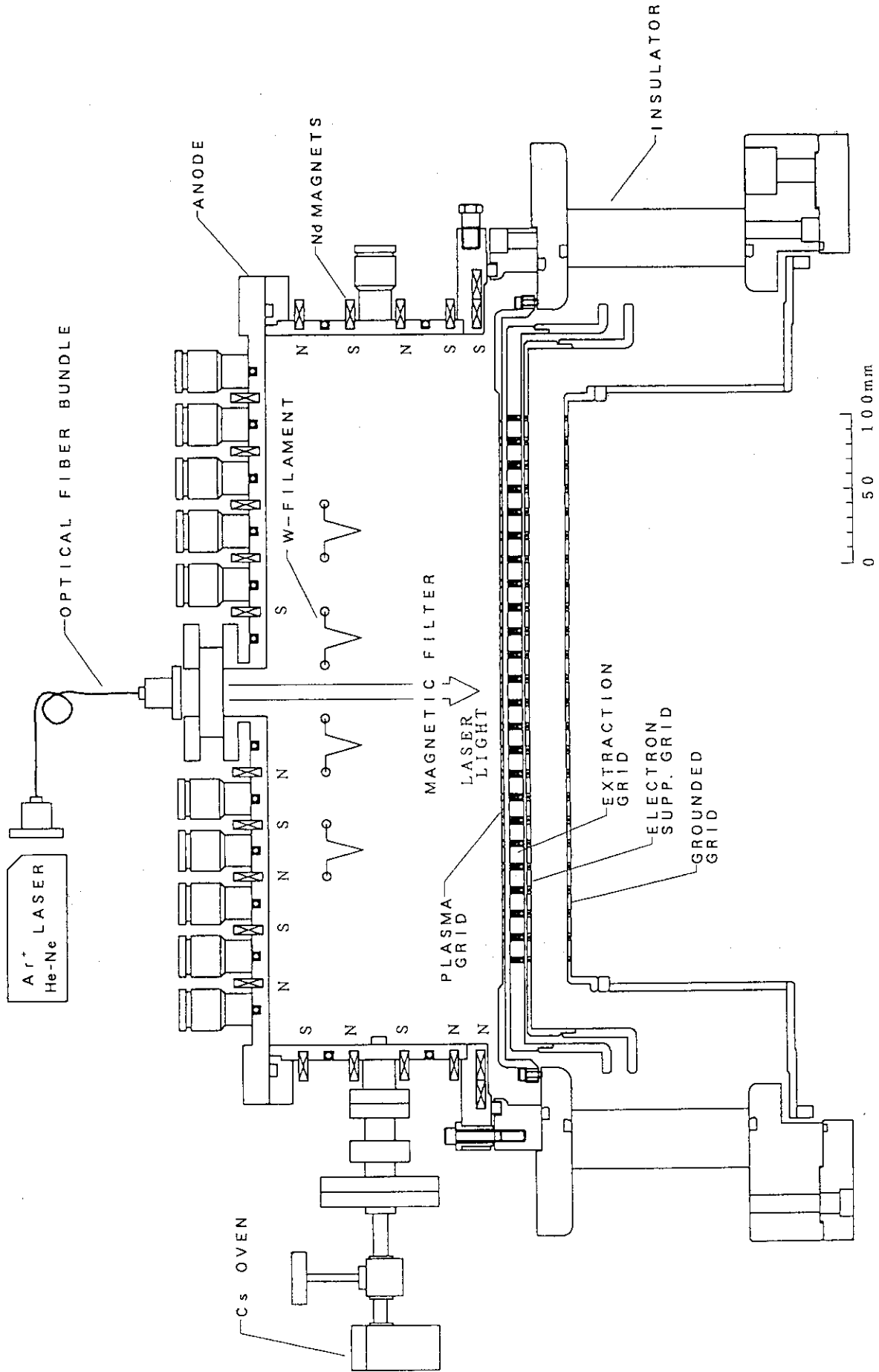


図 2.2 マルチアペンア負イオン源模式図

920521

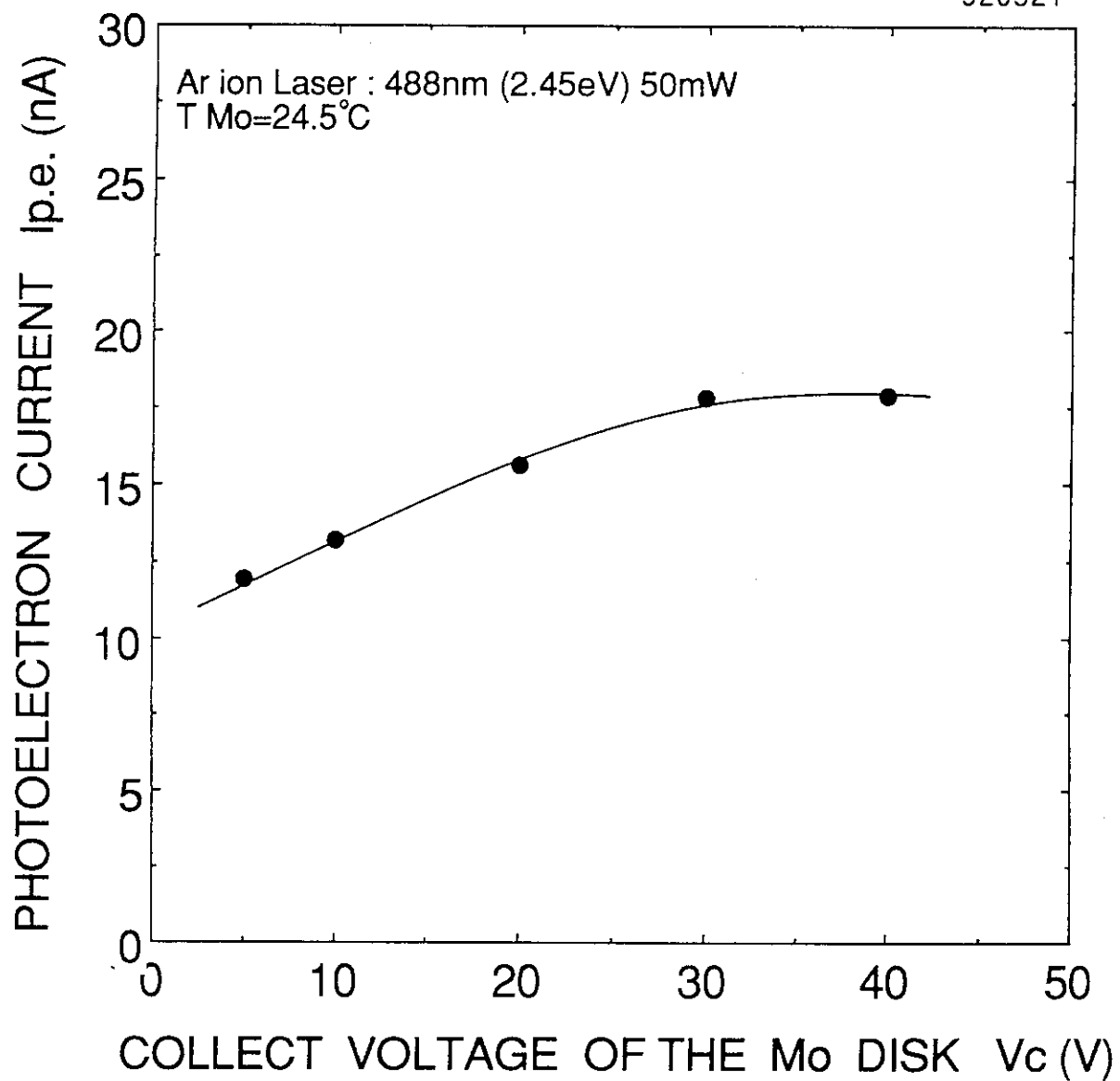


図 3.1 光電子電流の捕獲電圧依存性

920521

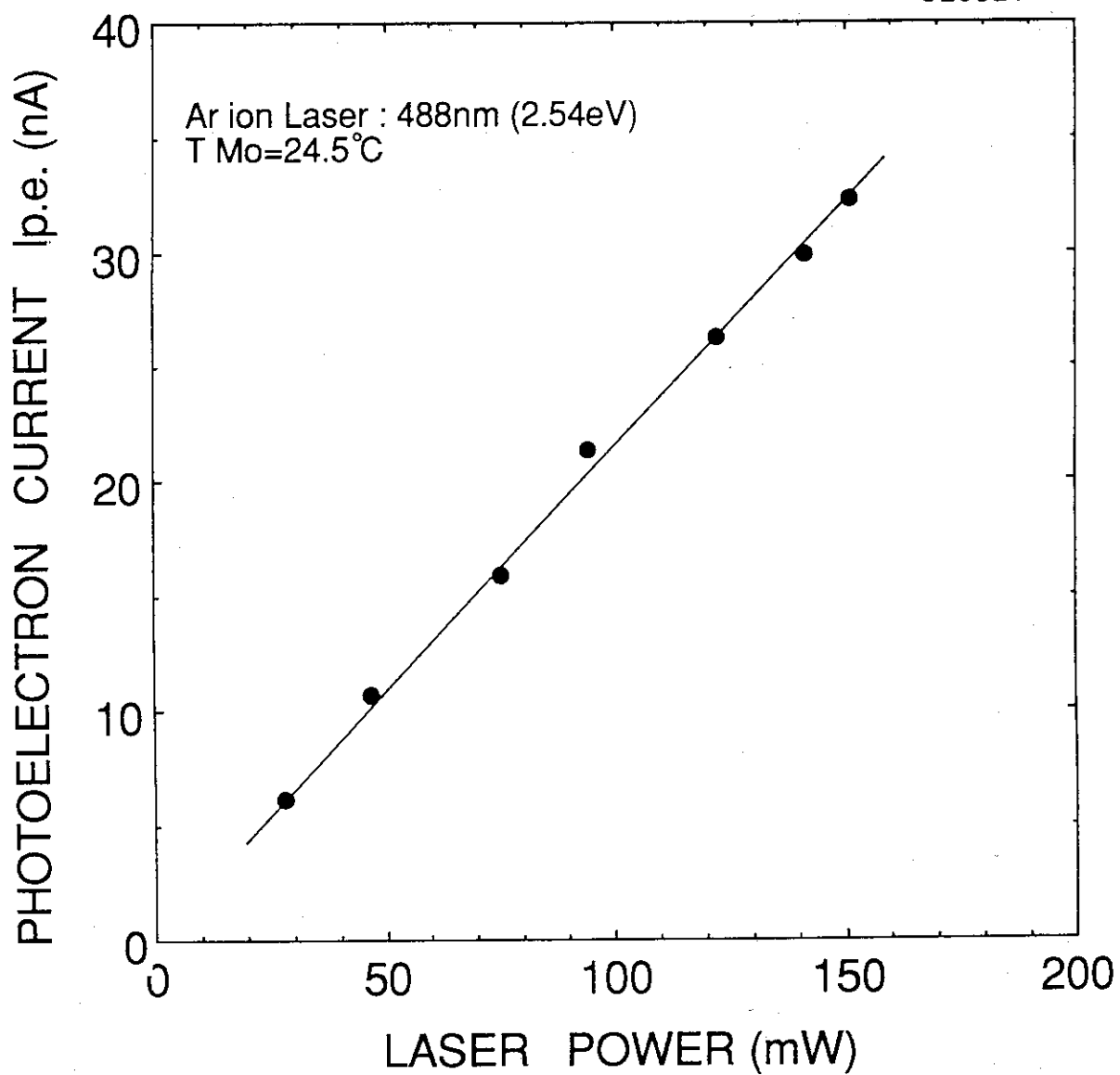


図 3.2 光電子電流のレーザーパワー依存性

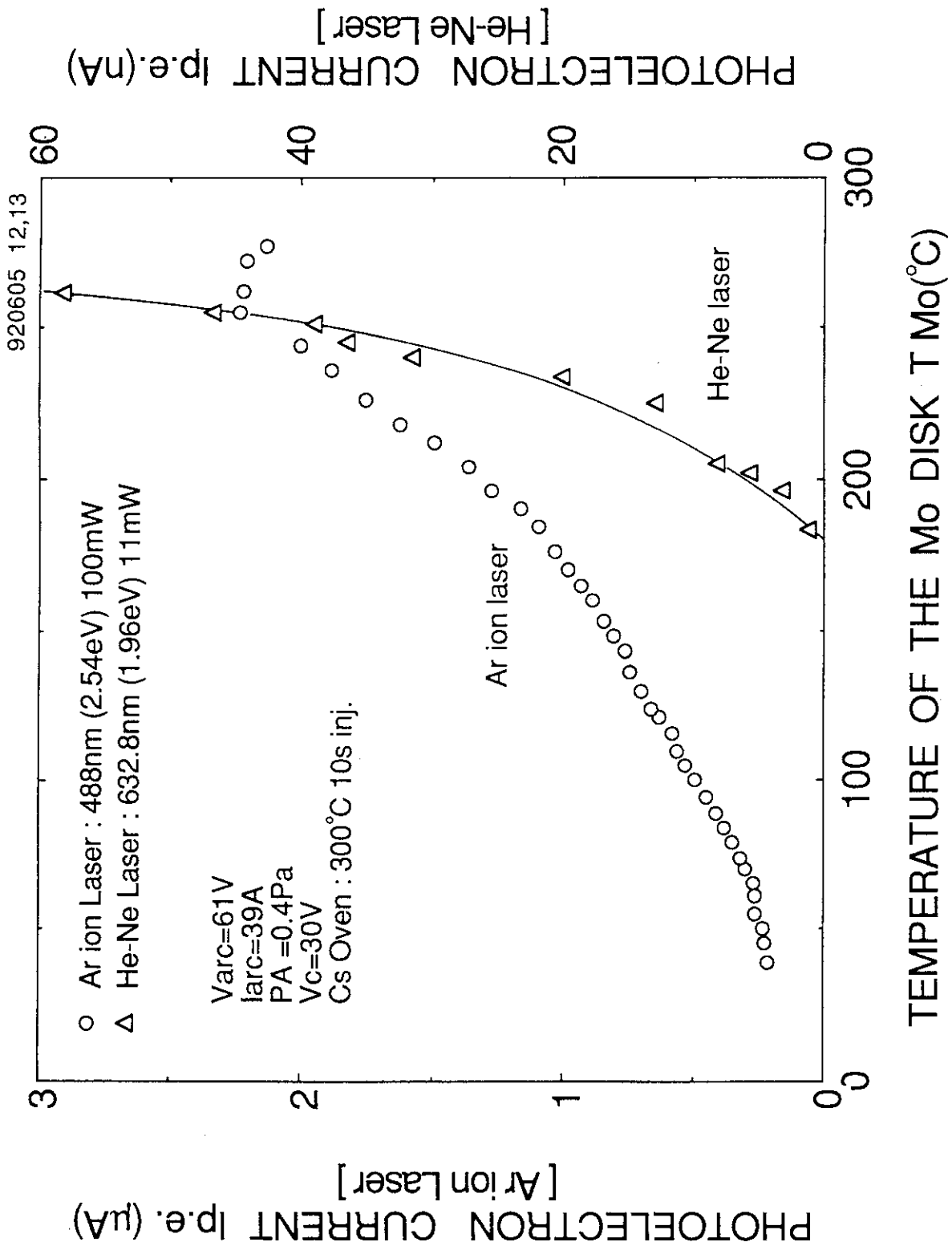


図 3.3 光電子電流のモリブデンターゲット温度依存性

620605 12,13

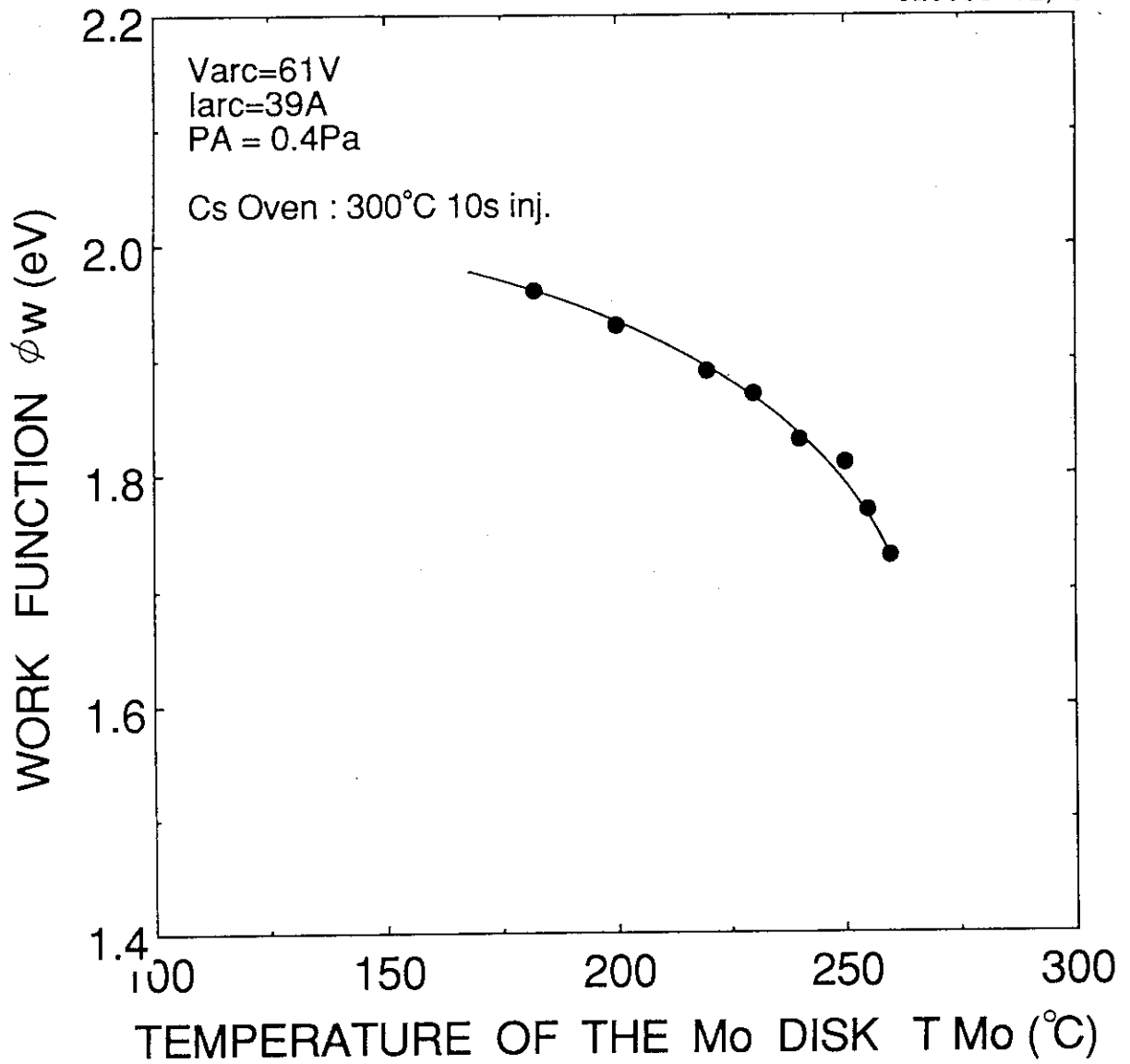


図 3.4 仕事関数のモリブデンターゲット温度依存性

920706

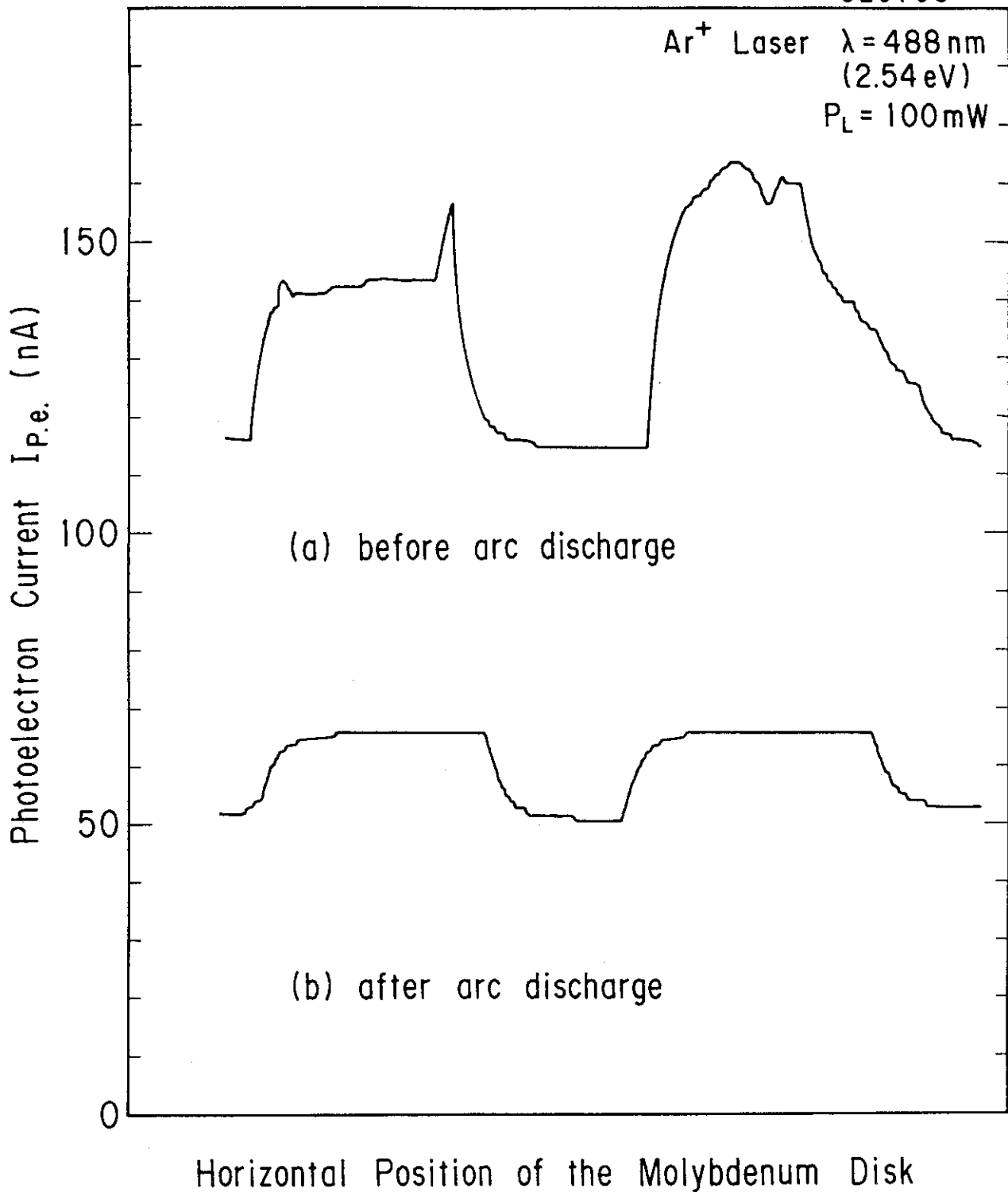


図 3.5 レーザーをモリブデンターゲットに水平方向に  
スキャンしたときの光電子電流出力波形

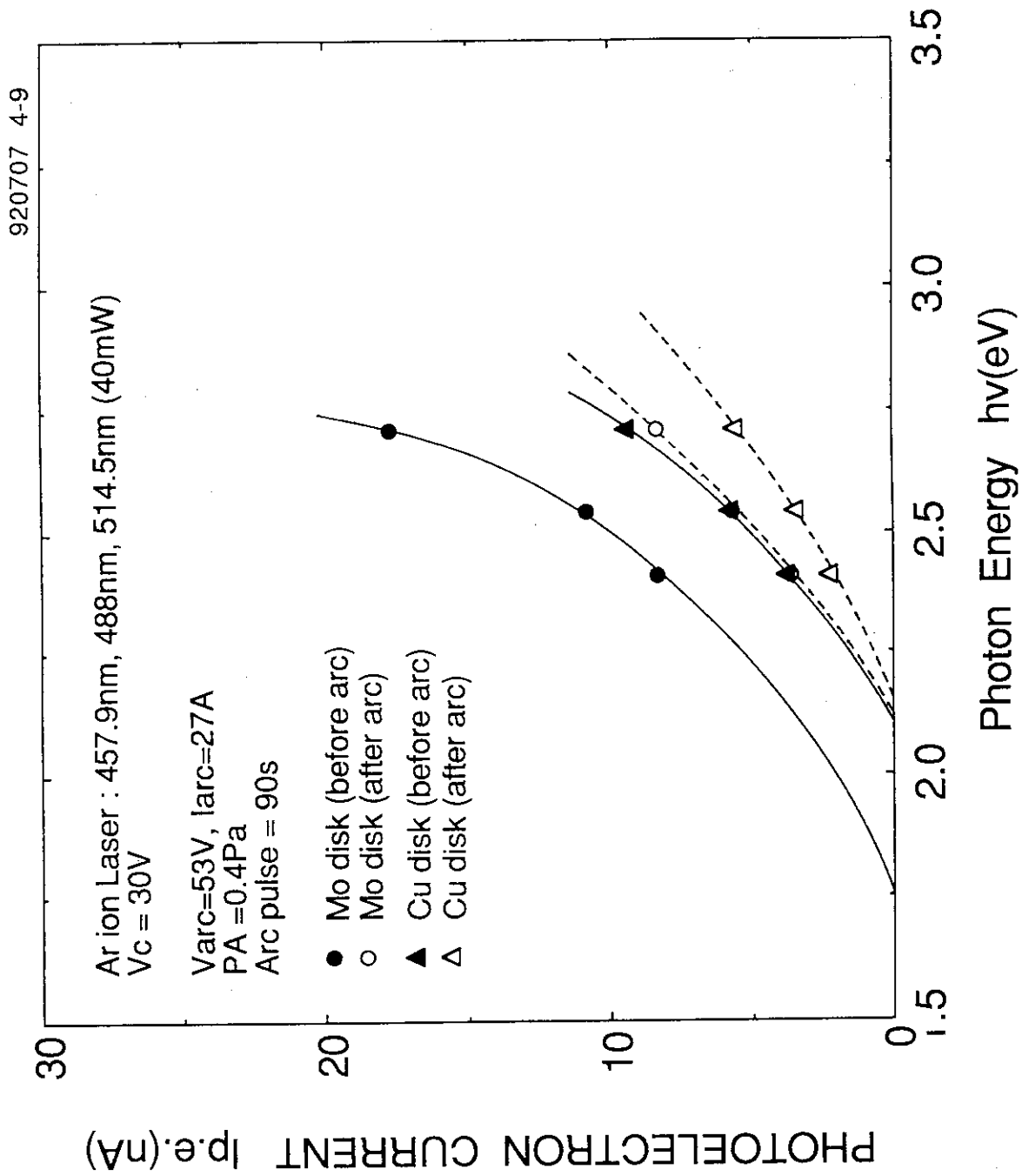


図 3.6 モリブデンと銅にセシウム層を形成したときの入射光子エネルギーと光電子電流の関係

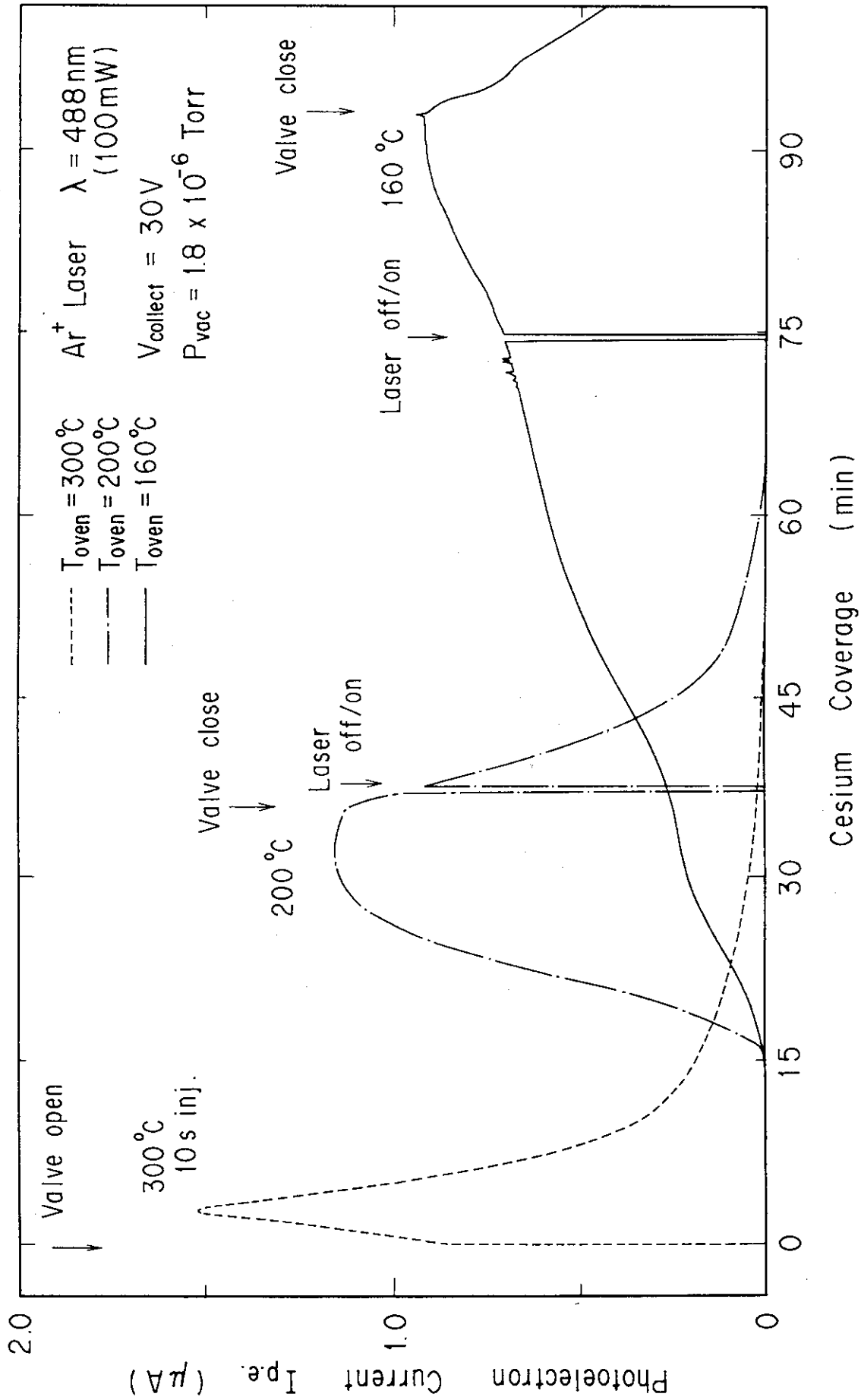


図3.7 各オープン温度におけるセシウム導入量（光電子電流）の時間変化



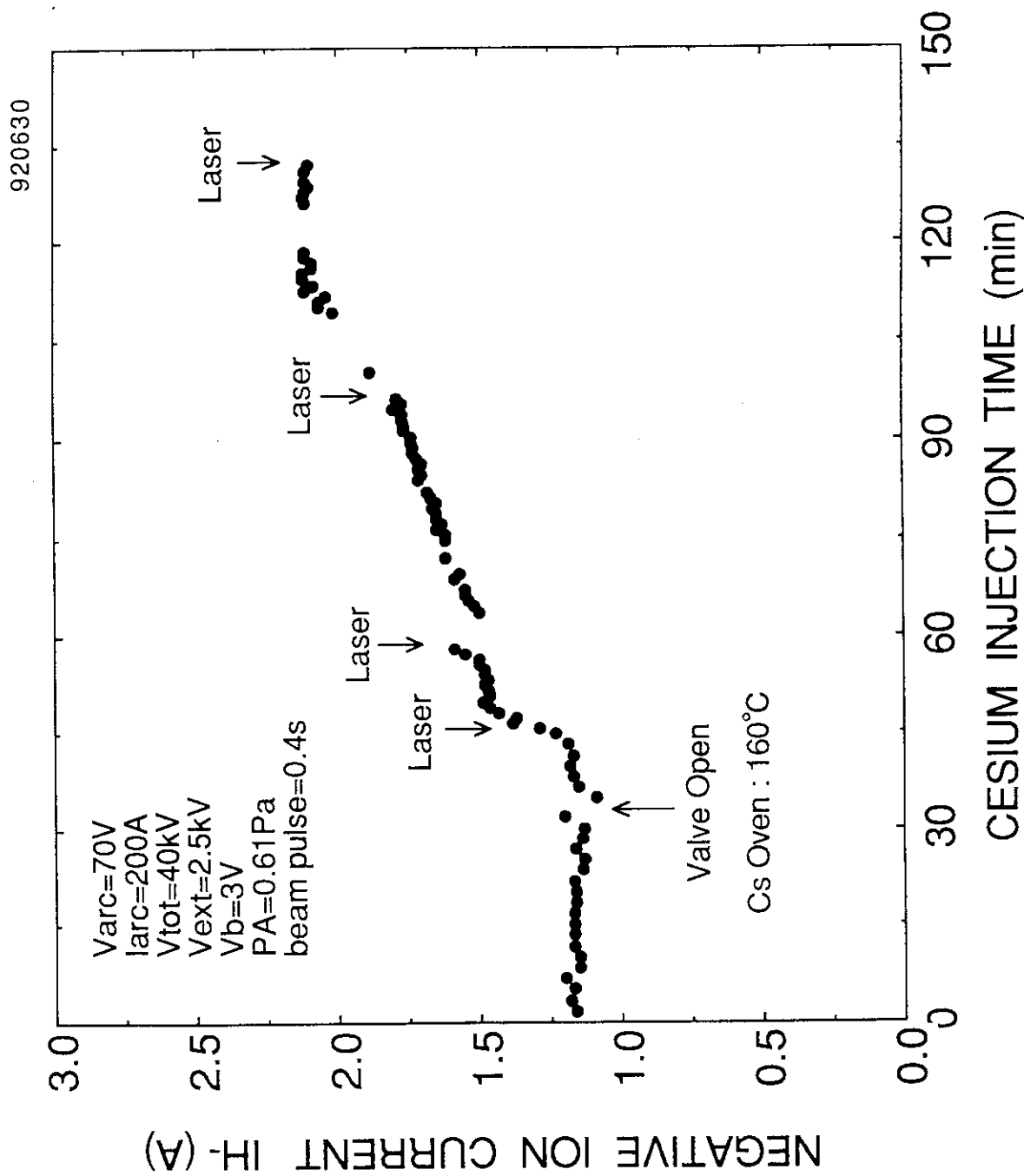


図 3.8 セシウム導入時間とH<sup>-</sup>イオン電流の関係

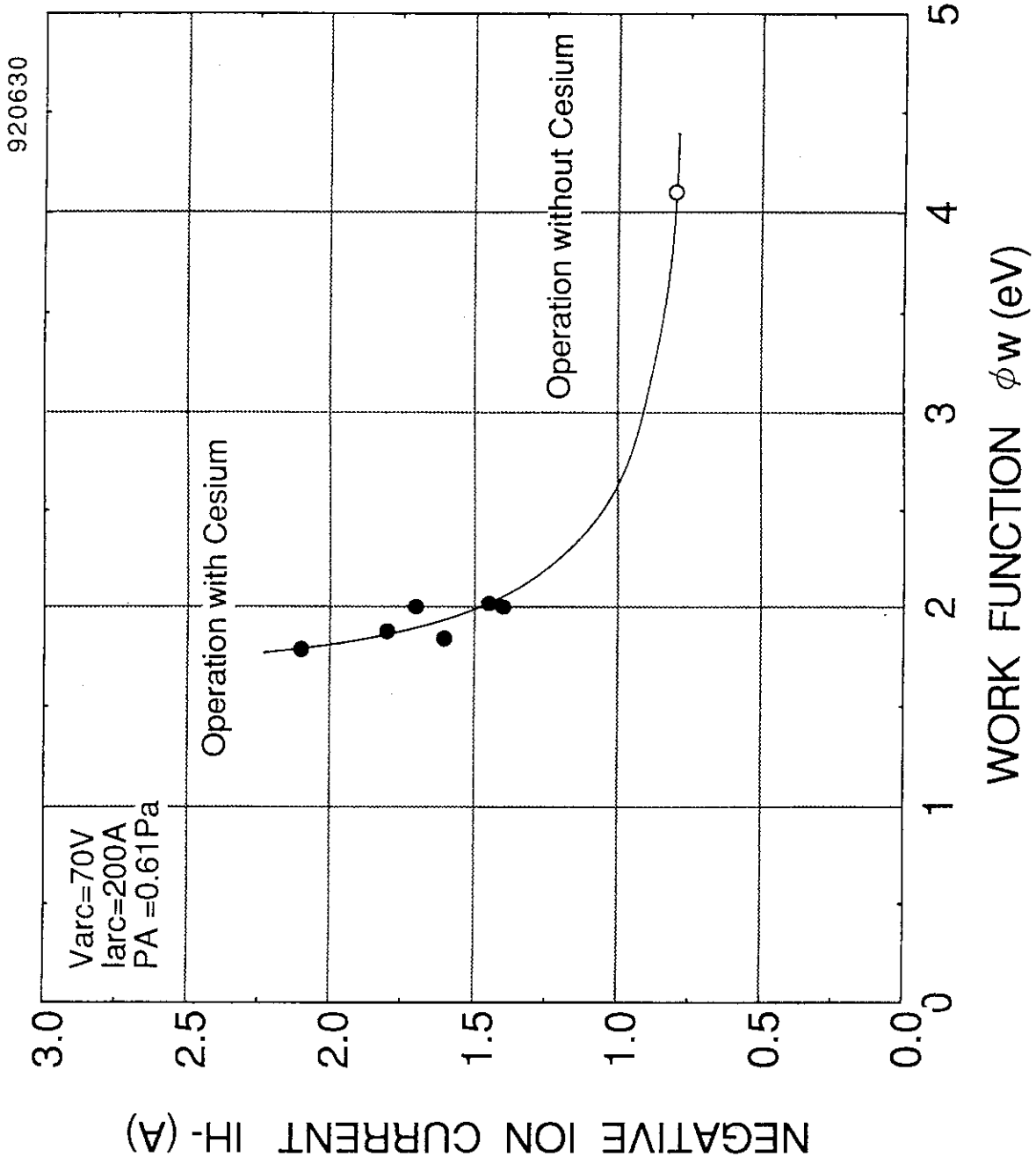


図 3.9 プラズマ電極の仕事関数とH<sup>-</sup>イオン電流の関係