

JAERI-Tech  
2000-081



JP0150302



多段式イオンチェンバーによる光子束の絶対値測定

2001年 2月

佐野 睦\*・吉越 章隆・寺岡 有殿・斎藤 則生\*・鈴木 功\*

日本原子力研究所  
Japan Atomic Energy Research Institute

本レポートは、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、日本原子力研究所研究情報部研究情報課（〒319-1195 茨城県那珂郡東海村）あて、お申し越してください。なお、このほかに財団法人原子力弘済会資料センター（〒319-1195 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。

**This report is issued irregularly.**

**Inquiries about availability of the reports should be addressed to Research Information Division, Department of Intellectual Resources, Japan Atomic Energy Research Institute, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken 319-1195, Japan.**

**© Japan Atomic Energy Research Institute, 2001**

編集兼発行 日本原子力研究所

## 多段式イオンチェンバーによる光子束の絶対値測定

日本原子力研究所関西研究所放射光科学研究センター

佐野 睦<sup>\*</sup>・吉越 章隆・寺岡 有殿・斎藤 則生<sup>\*2</sup>・鈴木 功<sup>\*2</sup>

(2000年10月30日受理)

SPring-8のBL23SUにおいて多段式イオンチェンバーを用いた光子束の絶対値測定を行い、フォトダイオード及びAuによる結果と比較をした。光子束の測定は光エネルギーが487、571、688、868、1078eVの5点に対して行った。イオンチェンバー内に導入するガスはアルゴンを用いた。それぞれの光エネルギーに対してガス圧を $10^{-2}$ Pa $\sim$ 10<sup>2</sup>Pa台まで変化させ光イオン電流を測定し、その結果を解析することにより光子束を求めた。得られた光子束はリングカレント100mA当たり $2.07 \times 10^{10}$   $\sim$   $3.13 \times 10^{11}$  (photons/s)となり、光エネルギーとともに増加する傾向を示した。フォトダイオードとの比較では571eV以下では両者の測定は誤差の範囲内で一致するがエネルギーが高くなるにつれて差が大きくなり、1078eVではイオンチェンバーに比べてフォトダイオードの方が33%小さい値を示した。

---

関西研究所：〒679-5148 兵庫県佐用郡三日月町光都1-1-1

<sup>\*</sup> (財) 高輝度光科学研究センター

<sup>\*2</sup> 電子技術総合研究所

Absolute Measurement of Photon-flux using a Multi-electrode Ion Chamber

Mutsumi SANO<sup>\*</sup>, Akitaka YOSHIGOE, Yuden TERAOKA, Norio SAITO<sup>\*\*</sup>  
and Isao H. SUZUKI<sup>\*\*</sup>

Synchrotron Radiation Research Center  
Kansai Research Establishment  
Japan Atomic Energy Research Institute  
Mikazuki-cho, Sayou-gun, Hyogo-ken

(Received October 30, 2000)

We measured photon flux using a multi-electrode ion chamber. These results were compared with photoemission measurements of photo-diode and Au. The experiment was carried out for photon energy of 487, 571, 688, 868 and 1078eV at the soft-X ray beamline, BL23SU in the SPring-8. The ion chamber was supplied with Ar gas. A fitting calculation with consideration of secondary ionization by ejected electrons has reproduced plotting curves of experimental ion currents against gas density in the pressure region of  $10^{-2}$  to  $10^2$  Pa. These results were from  $2.07 \times 10^{10}$  to  $3.13 \times 10^{11}$  photons/s as increasing with photon energy under the storage ring current of 100mA. Although analytical results under 571eV were consistent with those from measurement using a photo-diode within statistical error, the discrepancies between both results were larger as increasing the photon energy over 571eV. The photon flux obtained at 1078eV by using the photo-diode showed 33% smaller value comparing to that obtained from the ion chamber.

Keywords: Photon flux, Ion Chamber, Photo-diode, Soft-X Ray

---

<sup>\*</sup>Japan Synchrotron Radiation Research Institute

<sup>\*\*</sup>Electrotechnical Laboratory

## 目次

1. 序論	1
2. 多段式イオンチェンバーを用いた光子束絶対値測定の原理	1
3. 実験装置	2
4. データ収集系	3
5. 実験結果	3
5.1 イオン電流の捕集電圧依存性	3
5.2 イオン電流のガス圧依存性	4
6. データ解析	5
6.1 光子束の導出	5
6.2 測定誤差	6
7. 結論	6
謝辞	7
参考文献	7

Contents

1. Introduction	1
2. Multi-electrode Ion Chamber	1
3. Experimental Apparatus	2
4. Data Acquisition System	3
5. Results	3
5.1 Ion Current as a Function of Bias Voltage	3
5.2 Ion Current as a Function of Ar Gas Pressure	4
6. Data Analysis	5
6.1 Photon Flux	5
6.2 Error Estimation	6
7. Conclusion	6
Acknowledgment	7
References	7

## 1. 序論

我々はSpring-8における軟X線領域での放射光の光子束の絶対値測定を行うにあたって、BL23SUにおいて多段式イオンチェンバーを用いることを試みた。光子束の絶対値は放射光の利用実験においてしばしば高精度で必要となることもあり得る。従来、真空紫外-軟X線領域においては光子束測定ではフォトダイオードが使われることが一般的であるが軟X線領域においてはメーカー側の提示している量子効率にも空白領域があり理論値となっており、若干の不安が残る。また校正されたフォトダイオードを用いるにしても大強度の放射光を長時間照射することによる劣化等の心配がある。使用するエネルギー領域が軟X線であるため、これらのトラブルに見舞われた場合、必要な真空度に依っては短時間に実験を再開出来ないことも十分ありうる。また軟X線であっても高いエネルギー領域ではフォトダイオードの有感層を光が通り抜けてしまい、光子を数え落とす可能性がある。これらの状況に鑑みて、我々は電子技術総合研究所の斎藤等が軟X線領域の放射光に対して成功を収めている<sup>1),2)</sup>、多段式のイオンチェンバーを新たに製作して光子束の絶対値測定を試み、併せてフォトダイオード、金による結果と比較をした。今回の実験で製作した多段式イオンチェンバーの有用性を確認することができた。またフォトダイオードや金を用いた結果との差異も明らかになった。イオンチェンバーを用いた測定は長時間を要し、またガスを用いるなど煩雑であるため、普段は容易に使用できるフォトダイオードを使用し必要な場合はイオンチェンバーで測定を行える状態にしておくことは有効であると思われる。

## 2. 多段式イオンチェンバーを用いた光子束絶対値測定の原理

我々の用いたイオンチェンバーには光イオンを検出するための電極が4本設置されている。用いた電極は両端の2本の長さ（長さ $d(m)$ とする）、中間の2本の長さ（長さ $L(m)$ とする）がそれぞれ同じになっている。初期光子束の強度を $I_0$ (photons/s)とし、1番目、2番目、3番目の電極を通過後の光子束をそれぞれの $I_1$ 、 $I_2$ 、 $I_3$ とすると、

$$I_1 = I_0 \exp(-d\sigma p), \quad I_2 = I_1 \exp(-L\sigma p), \quad I_3 = I_2 \exp(-L\sigma p) \quad (1)$$

となる。ここで $\sigma$ は光吸収断面積 ( $m^2$ )、 $p$ はガス密度 ( $m^{-3}$ ) である。(1)式を用いて2, 3番目の電極で検出されるイオン電流（それぞれ $i_2$ 、 $i_3$ とする）を表すと、

$$i_2 = en(I_1 - I_2) = enI_0 \exp(-d\sigma p)(1 - \exp(-L\sigma p)) \quad (2a)$$

$$i_3 = en(I_2 - I_3) = enI_0 \exp(-d\sigma p) \exp(-L\sigma p) (1 - \exp(-L\sigma p)) \quad (2b)$$

となる。ここで $e$ は素電荷、 $n$ は光子1個が入射した時にイオンチェンバー内のガスから放出される電子の総数を表す。 $n$ は放射光による電離（1次過程）によって放出される電子数（ $\gamma$ ）と、1次過程で放出された電子が他の原子を電離する（2次過程）ことによって発生する電子の数（ $\delta$ ）に分けることが出来、次式で表される。

$$n = \gamma + \delta(p) \quad (3)$$

$\gamma$  値についてはNe, Ar, Kr, Xeに関して真空紫外-軟X線領域において近年測定されている<sup>3)</sup>。それに対して $\delta$  値は実験条件に大きく左右される値であり見積もることが困難である。しかし $\delta$  値はイオンチェンバー内に導入するガス圧に依存し、ガス圧が減少するにつれてゼロに近づき、ガス圧が高くなると一定の値に近づくという性質を持っている。

(2a)、(2b)式から光吸収断面積は

$$\sigma = \frac{1}{Lp} \ln \frac{i_2}{i_3} \quad (4)$$

となり、イオン電流 $i_2$ 、 $i_3$ 及びガス密度 $p$ から求めることが出来る。(4)式で求めた光吸収断面積 $\sigma$ を用いることにより、(2a)式から

$$I_0 = \frac{i_2 \exp(d\sigma p)}{en(1 - \exp(-L\sigma p))} \quad (5)$$

となる。また放射光が透過率（ $t$ ）のフィルターを通過してきた場合には(5)式は

$$I_0 = \frac{i_2 \exp(d\sigma p)}{ten(1 - \exp(-L\sigma p))} \quad (6)$$

と表せる。ガス圧の低い領域では $n \approx \gamma$ なので(6)式から初期光子束を求めることが出来る。

### 3. 実験装置

実験装置の概略を図1に示す。我々の用いた実験装置はチェンバーが外チェンバーと内チェンバーの2重構造になっている。外チェンバーはビームラインと真空



的に直結しているため高真空が維持されている。内チェンバーはイオンチェンバー本体であり放射光の出入り口となるフランジには厚さ2000Åのポリイミドフィルター (LEXEL社製サブミクロンフォイルCFS-Polyimide) (付録1) が取り付けられており、ビームラインとは真真空的に分離されている。また内チェンバーは直線導入系により必要に応じて上下できるように設計されており、イオンチェンバーの測定以外では放射光がビームライン下流側に素通しされるよう下げることができる。内チェンバーには光イオンを検出するためのφ5mmの電極が4本設置されている。長さは両端の2本が0.05m、中間の2本が0.2mであり、それぞれの電極に対して表面の変質を抑えるための金メッキが施されている。測定は内チェンバーにプラスの電位をかけ光イオンを電極で捕集する。イオンチェンバー内に導入するガスにはアルゴンを用いた。我々の行った軟X線領域でアルゴンの $\gamma$ 値や光吸収断面積が急激に変化することがないため、これらの影響による光子束の誤差を抑えることができる。アルゴンの $\gamma$ 値を付録2に記す<sup>3)</sup>。またガス圧の絶対値測定には隔膜型ガス圧計 (MKS社製Baratron622A12TCE、622A01TCE) を用いた。

#### 4. データ収集系

データ収集系についても図1に示されている。電極で捕集された光イオンの電流値は各電極毎に合計4台のピコアンメータ (アドバンテスト社製デジタルエレクトロメータTR8652) で測定され、そのプリアンプ出力をマルチプレクサー (HP社製DATA ACQUISITION/SWITCH UNIT 34970A) に入力した。マルチプレクサーはパーソナルコンピュータとRS-232Cで接続されデータが収集された。またガス圧も同時にマルチプレクサーを通して収集された。

#### 5. 実験結果

##### 5.1 イオン電流の捕集電圧依存性

この測定では光イオンの電流値が光子束の絶対値を決めるのに最も重要であるため、その捕集効率を出来るだけ100%に近づける必要がある。その条件を求めるために光エネルギーを約860eVに固定し、ガス圧を0.08、0.48、3.43、10.0、50.0Paと変化させ、それぞれのガス圧に対して内チェンバーに印可する電圧を変化させて捕集電極で検出されるイオン電流の変化を調べた。その結果を図2(a)-(e)に示す。いずれの圧力においても両端の電極からの電流値 $i_1$ 、 $i_4$ は印可電圧が増すにつれて上昇する傾向にある。これは両端の電極付近では電場が乱れており、一様な電場が形成されていないためであると思われる。それに対して $i_2$ 、 $i_3$ についてはガス圧が0.08、0.48、50.0Paの場合には印可電圧が20V以上でほぼ一定となっている。3.43、10.0Paでは印可電圧が30V付近ではほぼ一定になっているようだがそれ以外

の領域では上昇傾向にある。これらのことは定性的に以下のように考えられる。ガス圧が低い領域 (0.08、0.48Pa) では放射光による電離によって放出された電子の平均自由行程が長いために他の原子と衝突する確率が低く、印可電圧を大きくしても2次過程による電離は起きにくい。またガス圧が高い領域 (50.0Pa) では電子の平均自由行程が短くあまり加速されていないために、他の原子と衝突しても電離に至る確率は低い。しかしガス圧が中間的な領域 (3.43、10.0Pa) では電子の平均自由行程が電離を起こすのに適当な長さのために、印可電圧を増加するにつれてイオン電流も増加し、プラトー域が出にくい。このようにガス圧によってプラトー域がでにくい場合もあるが、光子束を求めるのに最も重要なのはガス圧が低い領域でのイオン電流であり、この領域ではプラトーが確認されているので光子束導出に問題は無い。以上の測定からイオンチェンバーに印可する電圧は30Vに固定して以後の測定を行った。

## 5.2 イオン電流のガス圧依存性

光子束の測定は光エネルギーが487、571、688、868、1078eVの5点に対して行った。それぞれのエネルギーはアンジュレータのギャップ値が36、39、42、46、50mmの時の1次光のピークエネルギーに相当する。光エネルギーの校正はNe、N<sub>2</sub>の吸収スペクトルを測定し、Neの1s→3p遷移ピーク (867.1eV)、N<sub>2</sub>の1s→1π<sup>\*</sup>遷移ピーク (400.8eV) を参照して得た次式を用いて行った。

$$E=1.1152679 \times 10^9 / (24554.418 - Gpls) \quad (7)$$

ここでEは光のエネルギー(eV)、Gplsは分光器のサインバーを駆動するステッピングモーターのパルス数に相当する値である。

回折格子は1999年秋に設置された600lines/mmのものを用いた。また光学系は、フロントエンドスリットの開口幅が2.5mm×2.5mm、ゼロ点からのズレは上下方向に-0.4mm、左右方向に-1mm、また入口、出口スリットのマイクロメータの読みはそれぞれ0.85mm、1.8mm、スリット位置のゼロ点からのズレは下流方向にそれぞれ100mm、150mmであった。

それぞれのエネルギーに対してガス圧を10<sup>-2</sup>~10<sup>2</sup>Pa程度まで変化させ光イオン電流を測定した。またポリイミドフィルターの透過率はイオンチェンバー本体である内チェンバーを上下させ、内チェンバーを下げて放射光を素通しさせた場合と内チェンバーを上げてフィルターを通過させた場合の光強度を下流スクリーンモニターの電流値で比較することにより求めた。その結果487、571、688、868、1078eVの光に対してそれぞれ、70.7、71.7、82.0、89.7、94.0%であった。これ

らの値はメーカー提供の値と良い一致を示している（付録1参照）。Table1にこれらの測定についてまとめて記す。

## 6. データ解析

### 6.1 光子束の導出

光子束の導出は以下の手順で行った。ガス圧が十分低ければ(6)式から $n=\gamma$ として光子束を求めることが出来るが、我々の行った $10^{-2}$ Pa台のガス圧でこの条件が満たされるかどうか定かではない。そこでまず(6)式において $n=\gamma$ とおき、見かけ上の光子束

$$I = \frac{i_2 \exp(d\sigma p)}{te\gamma(1 - \exp(-L\sigma p))} \quad (8)$$

を計算した。その結果を図3に示す。各々の測定では金の蒸着膜からの光電子収量で光強度をモニターし、規格化に用いた。2次過程で発生する電子数、 $\delta$ 値の性質から見かけ上の光子束はガス圧が高くなるにつれて増し、一定以上のガス圧になると飽和していく様子が図3からわかる。見かけ上の光子束 $I$ は式(6)と(8)を用いて

$$I = I_0 \frac{n}{\gamma} = I_0 \frac{\gamma + \delta(p)}{\gamma} \quad (9)$$

と表せる。 $\delta$ 値は $p=0$ でゼロになりガス圧が高くなるにつれて一定の値の近づく性質を持つ。これにより

$$\delta(p) = \delta_0(1 - \exp(-\alpha p)) \quad (10)$$

と近似できる。式(10)で $\delta_0$ はガス圧が十分高いときの2次電子数、 $\alpha$ は放出電子の平均自由行程に対応したパラメータである。式(10)を用いて見かけ上の光子束は

$$I = I_0 \frac{\gamma + \delta_0(1 - \exp(-\alpha p))}{\gamma} \quad (11)$$

と表すことが出来る。式(11)において $I_0$ 、 $\delta_0$ 、 $\alpha$ をパラメータとしてフィッティングを行った。図3の各々のエネルギーと共に記してある曲線は高次光が含まれていないと仮定した上記の式でフィッティングした結果である。図4にフィッティング

から求めたそれぞれの光エネルギーの対する初期光子束  $I_0$ 、フォトダイオード (IRD 社製AXUV-100) 及び金 (真空中でその場蒸着) の光電子収量から求めた光子束を記す。尚フォトダイオードの量子効率<sup>1)</sup>はカタログに記されている  $E_{ph}/3.7$  ( $E_{ph}$ : 光エネルギー(eV)) を、金については文献値<sup>2)</sup>を用いた。ただしこれらはリングカレント100mAあたりに換算した値となっている。

## 6.2 測定誤差

誤差の見積もりは確率変数をイオン電流 ( $i$ )、ガス密度 ( $p$ )、光吸収断面積 ( $\sigma$ ) の3つとした。電極の長さ ( $d, L$ )、文献から引用した  $\gamma$  値は一定とし、見かけ上の光子束の誤差

$$|\Delta I|^2 = \left| \frac{\partial I}{\partial i} \right|^2 |\Delta i|^2 + \left| \frac{\partial I}{\partial \sigma} \right|^2 |\Delta \sigma|^2 + \left| \frac{\partial I}{\partial p} \right|^2 |\Delta p|^2 \quad (12)$$

を求めた。 $\Delta i$ ,  $\Delta \sigma$ ,  $\Delta p$  は  $i$ ,  $\sigma$ ,  $p$  の標準偏差、 $\frac{\partial I}{\partial i}$ 、 $\frac{\partial I}{\partial \sigma}$ 、 $\frac{\partial I}{\partial p}$  はそれぞれの確率変数の平均値を用いて計算した。その結果は図3にエラーバーとして示されている。また上記のフィッティングはこれらの誤差を重み付けした上で行われた。図4の真の光子束の誤差としては最もガス圧が低い場合の見かけ上の光子束の誤差を採用した。Table2にこれらのことをまとめて記す。

## 7. 結論

イオンチェンバーとフォトダイオードによる測定を比較すると、487、571eVでは誤差の範囲内で両者の測定は一致するが、エネルギーが高くなるにつれて、差が大きくなり1078eVでは33%の違いが両者に出てくる。この事はフォトダイオードの有感層を通り抜けてしまう光子がエネルギーが高くなるにつれて増えてくることを示唆している。参考までに我々の用いたフォトダイオードの有感層は0.15  $\mu$ m (仕様値) であった。以上の結果は光エネルギーが571eV以上でこのフォトダイオードを用いて光子束を求める場合は校正する必要があることを示している。一方、金蒸着膜からの光電子収量から求めた光子束はイオンチェンバーに比べて12%から33%小さい値を示した。

謝辞

この実験を行うに当たり多大な協力をしてくださった日本原子力研究所の横谷明徳氏、赤松 憲氏、岡根哲夫氏、藤森 伸一氏、井野 明洋氏、安居院 あかね氏に感謝します。また有益な助言をくださった日本原子力研究所の斉藤祐児氏に感謝します。

参考文献

- 1) N. Saito and I. H. Suzuki, J. Synchrotron Rad. 5, 869 (1998).
- 2) N. Saito and I. H. Suzuki, J. Electron Spectrosc. Relat. Phenom. 101-103, 33 (1999).
- 3) 鈴木功、斎藤則生、電総研彙報 6, 46 (1992).
- 4) H. Henneken et al., J. Electron Spectrosc. Relat. Phenom., 101-103, 1019 (1999).

Table1 : アンジュレータの各ギャップ値に対する1次光のピークエネルギーとポリイミドフィルターの透過率。各々に対するアンジュレータの位相、分光器のサインバーを駆動するステッピングモーターのパルス数に相当するGplsも記す。

Gap(mm)	Phase(mm)	Gpls	E(eV)	Transmission (%)
36	35.364	-2267000	487	70.7
39	36.075	-1928000	571	71.7
42	36.754	-1596000	688	82.0
46	37.614	-1261000	868	89.7
50	38.422	-1010000	1078	94.0

Table2 : 多段式イオンチェンバーで測定した光子束とその誤差、及びフォトダイオード、金の蒸着膜で測定した光子束

E(eV)	$I_0$ (photons/s)	$\Delta I_0$	P.D.	Au
487	$2.07 \times 10^{10}$	$2.27 \times 10^9$	$2.14 \times 10^{10}$	$1.81 \times 10^{10}$
571	$4.20 \times 10^{10}$	$3.78 \times 10^9$	$3.91 \times 10^{10}$	$3.40 \times 10^{10}$
688	$8.71 \times 10^{10}$	$5.00 \times 10^9$	$7.77 \times 10^{10}$	$7.58 \times 10^{10}$
868	$1.80 \times 10^{11}$	$1.40 \times 10^{10}$	$1.39 \times 10^{11}$	$1.31 \times 10^{11}$
1078	$3.13 \times 10^{11}$	$2.50 \times 10^{10}$	$2.09 \times 10^{11}$	$2.11 \times 10^{11}$

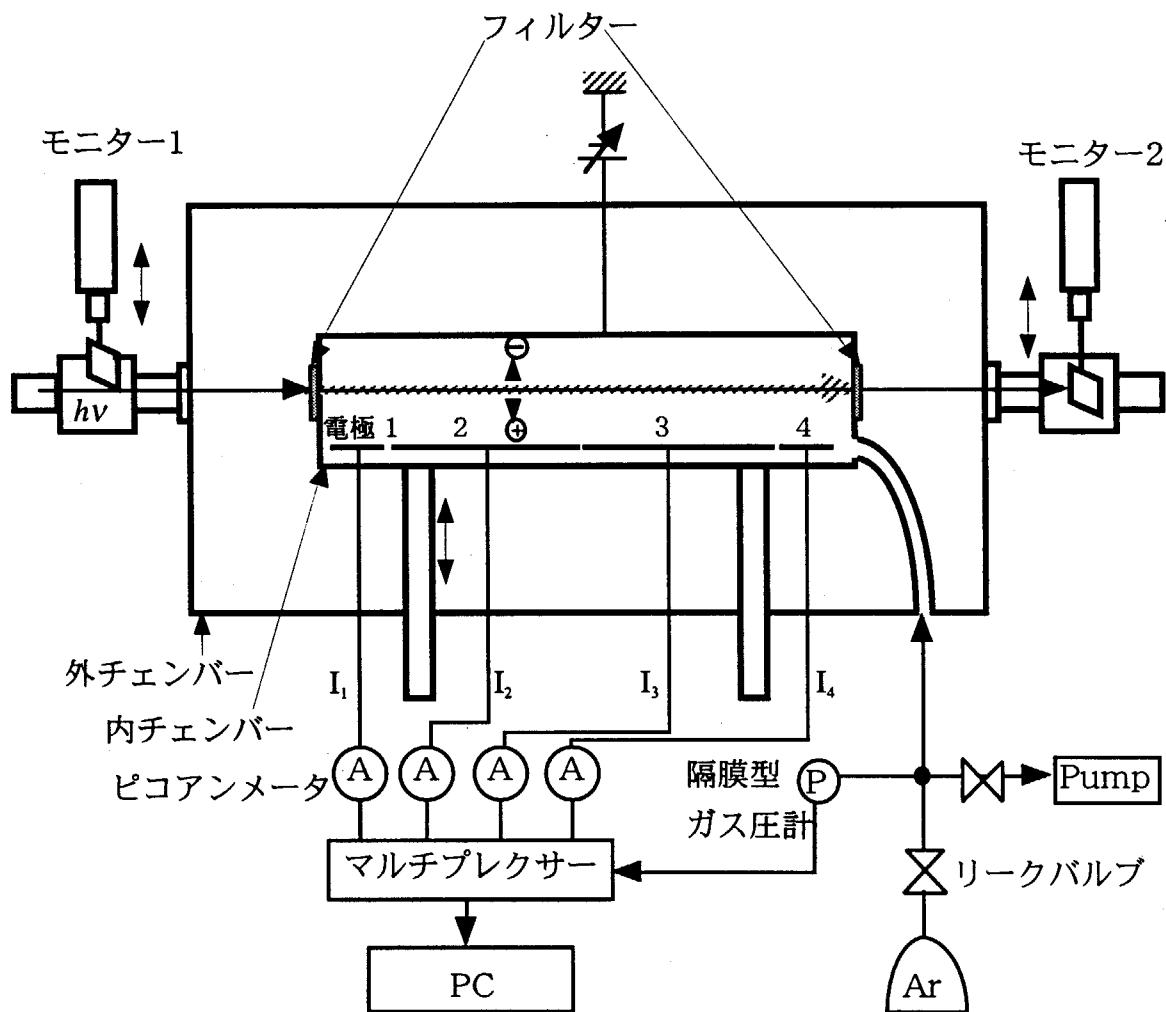


Fig. 1 : 実験装置全体の概略図。外チェンバーと内チェンバー（イオンチェンバー本体）からなる。内チェンバーに光イオン電流を検出する4本の電極が設置されている。測定器系はピコアンメータ、マルチプレクサー、パーソナルコンピュータで構成されている。

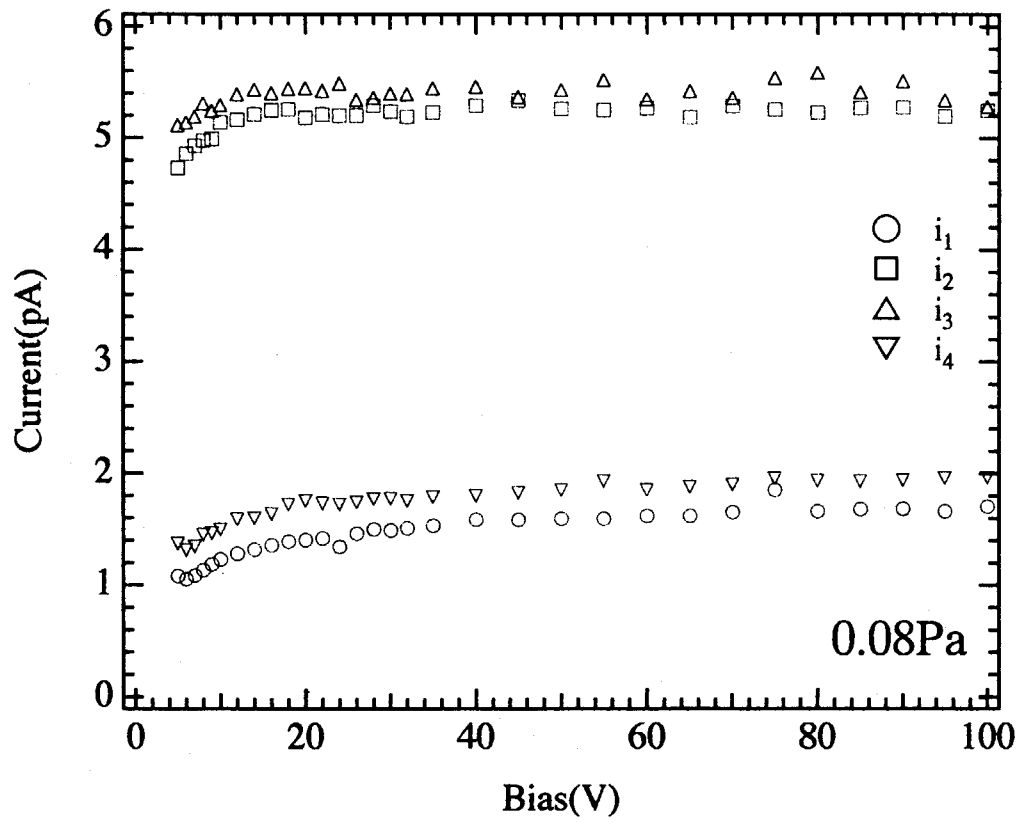


Fig.2-(a) : ガス圧を0.08Paとしたときの光イオン電流の印可電圧依存性。



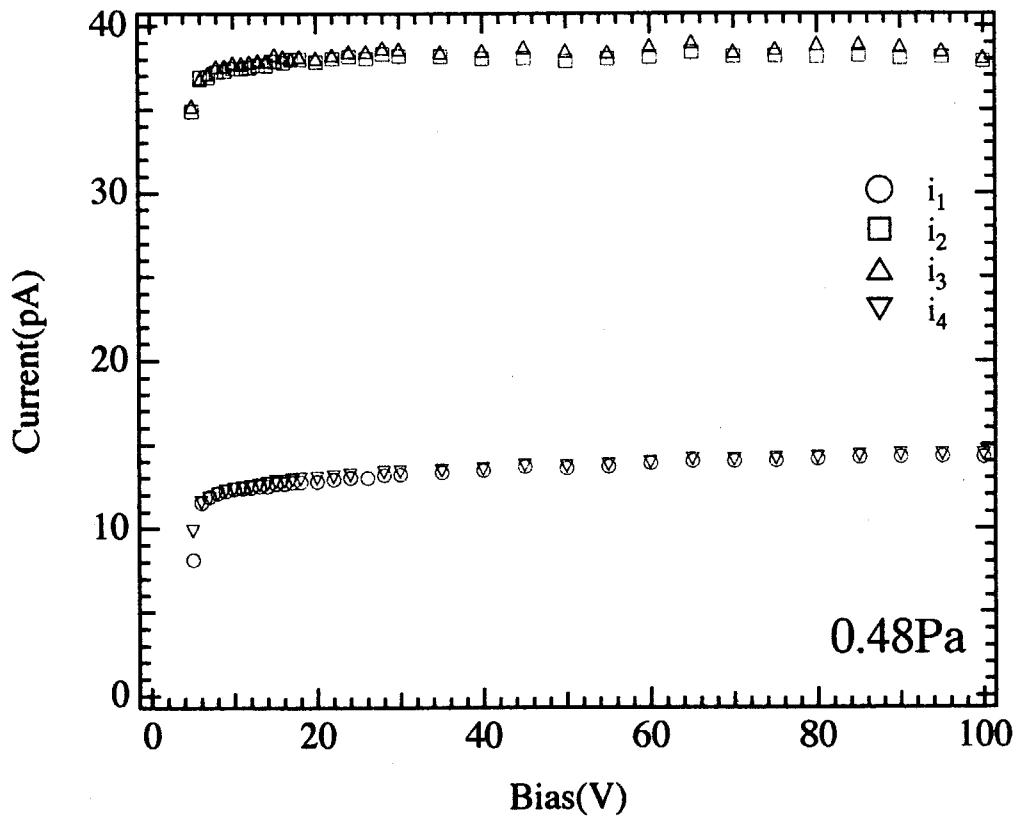


Fig.2-(b) : ガス圧を0.48Paとしたときの光イオン電流の印可電圧依存性。

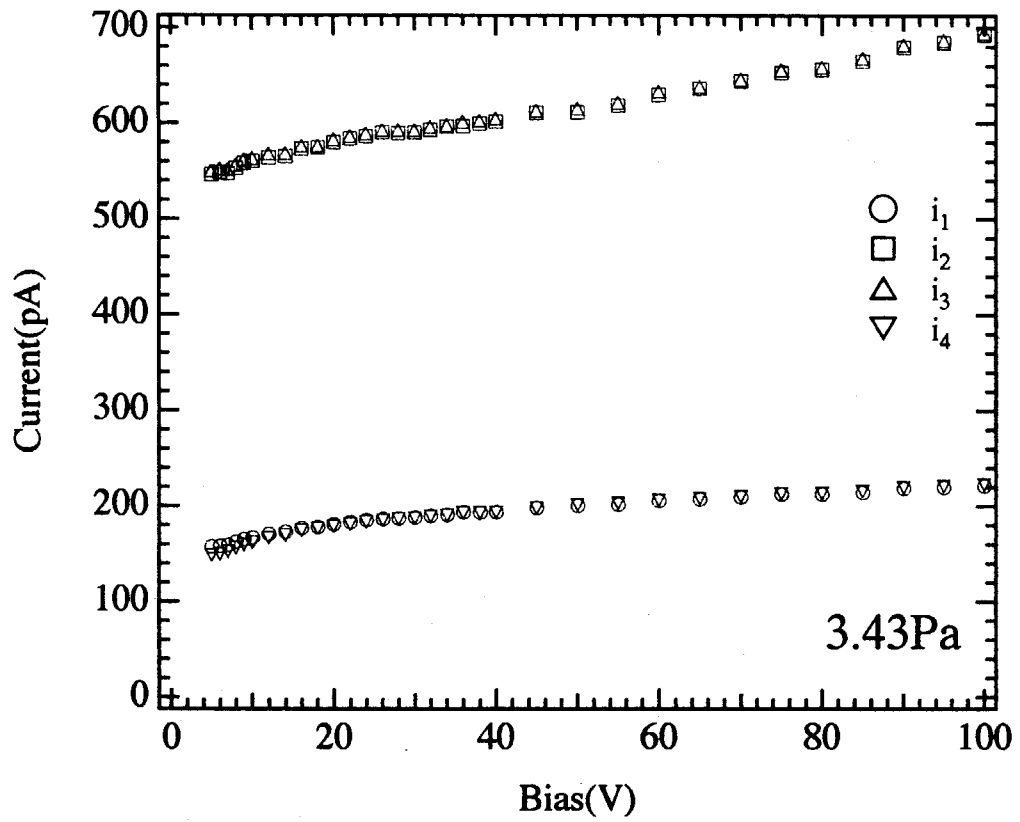


Fig.2-(c) : ガス圧を3.43Paとしたときの光イオン電流の印可電圧依存性。

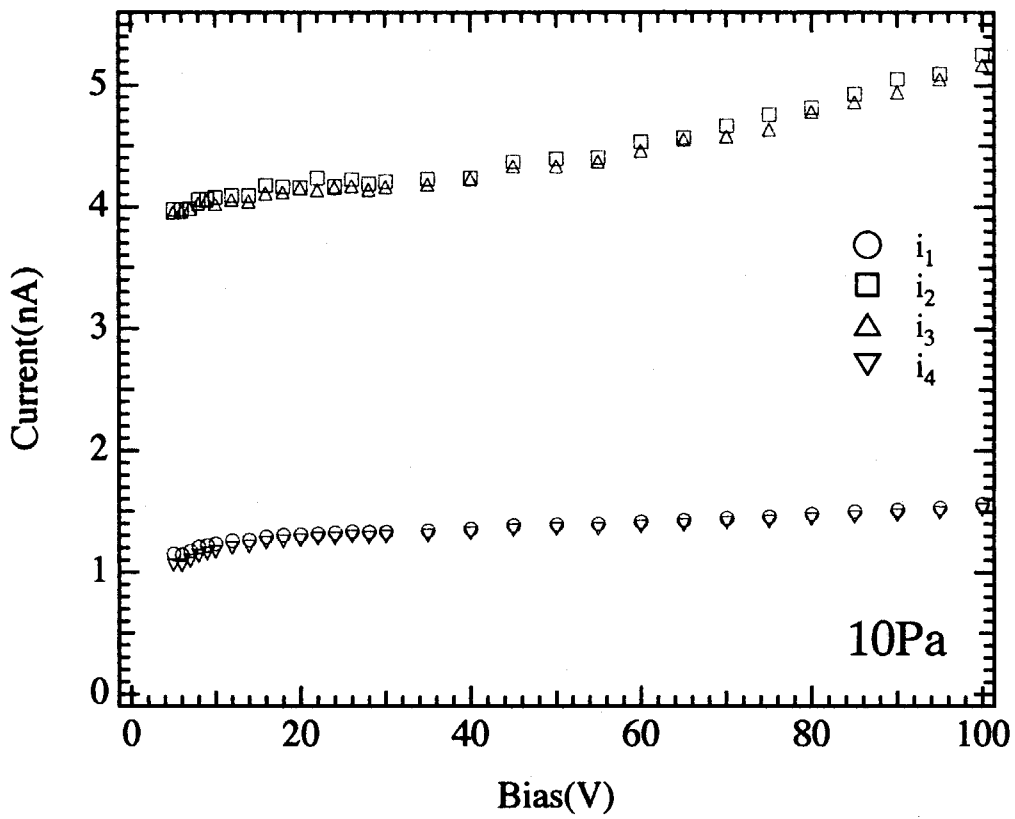


Fig.2-(d) : ガス圧を10.0Paとしたときの光イオン電流の印可電圧依存性。

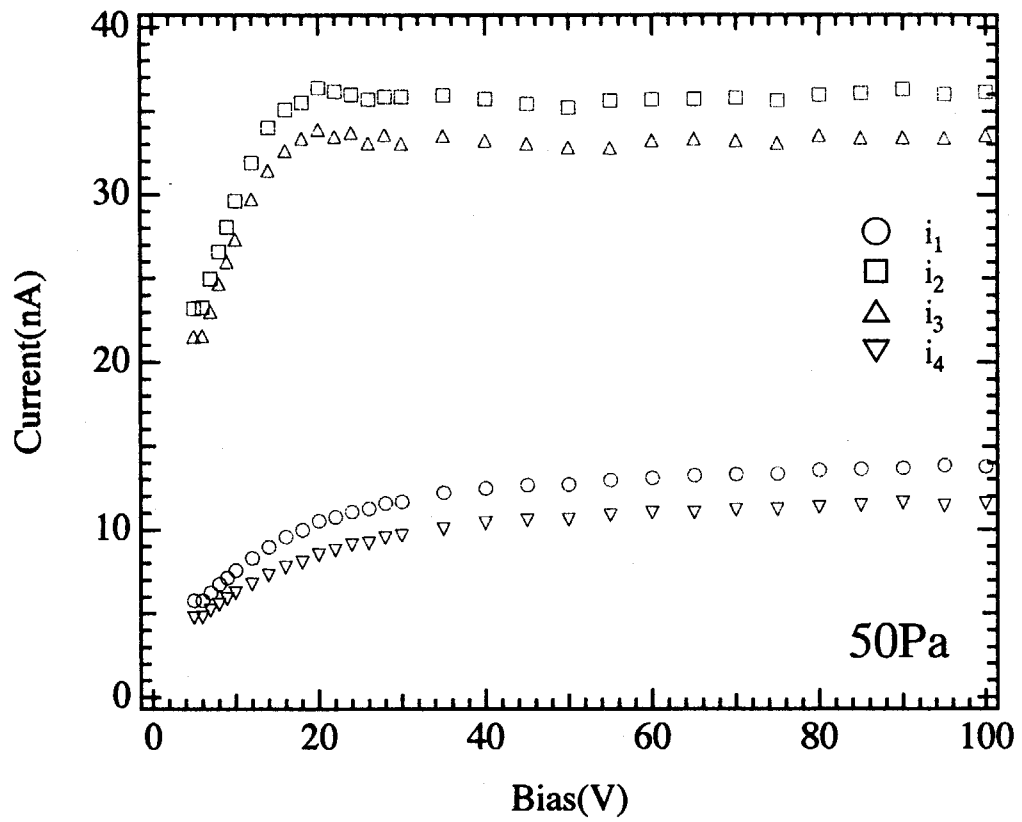


Fig.2-(e) : ガス圧を50.0Paとしたときの光イオン電流の印可電圧依存性。

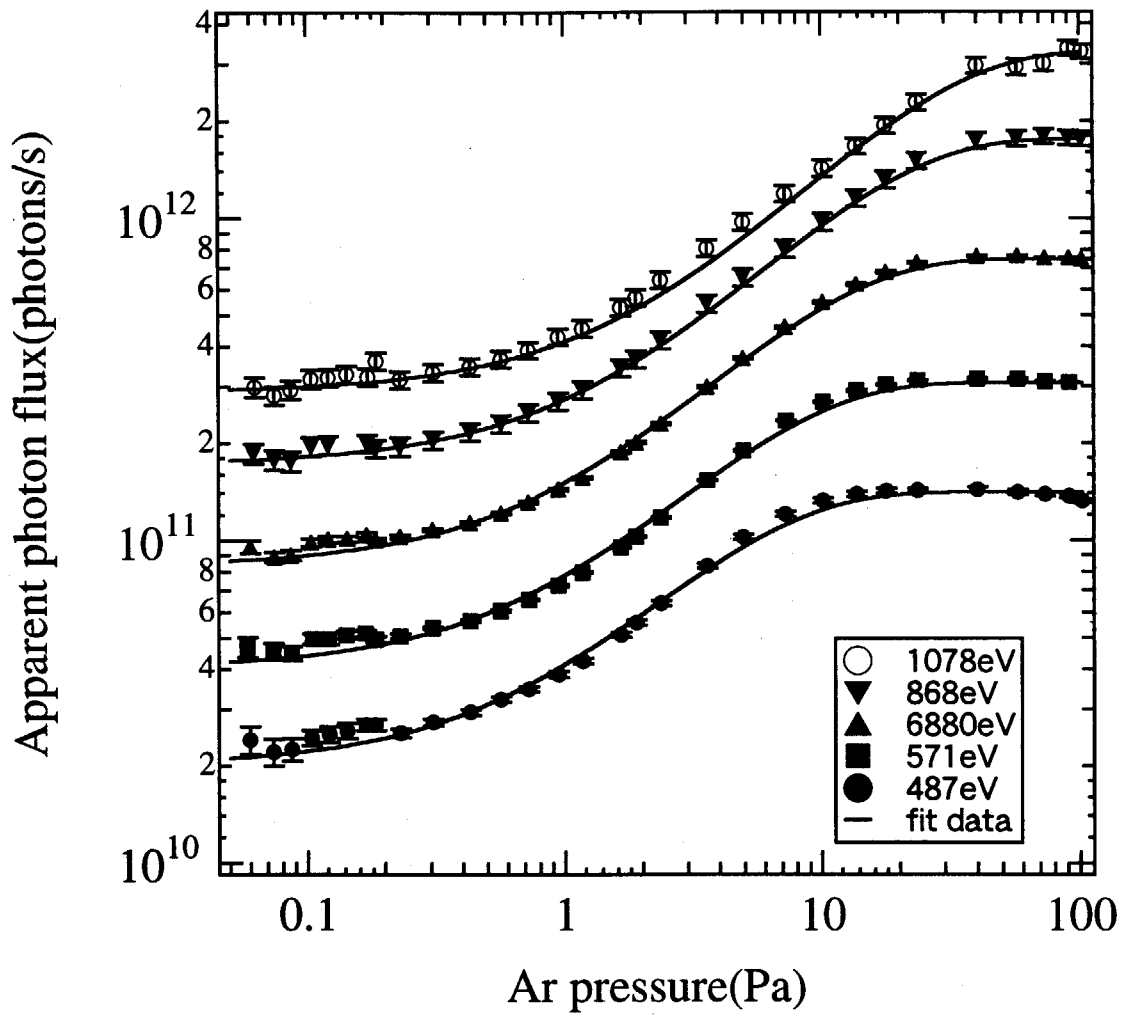


Fig.3 : 光エネルギーが487、571、688、868、1078eVの場合の見かけ上の光子束。実線はフィッティングデータを表す。

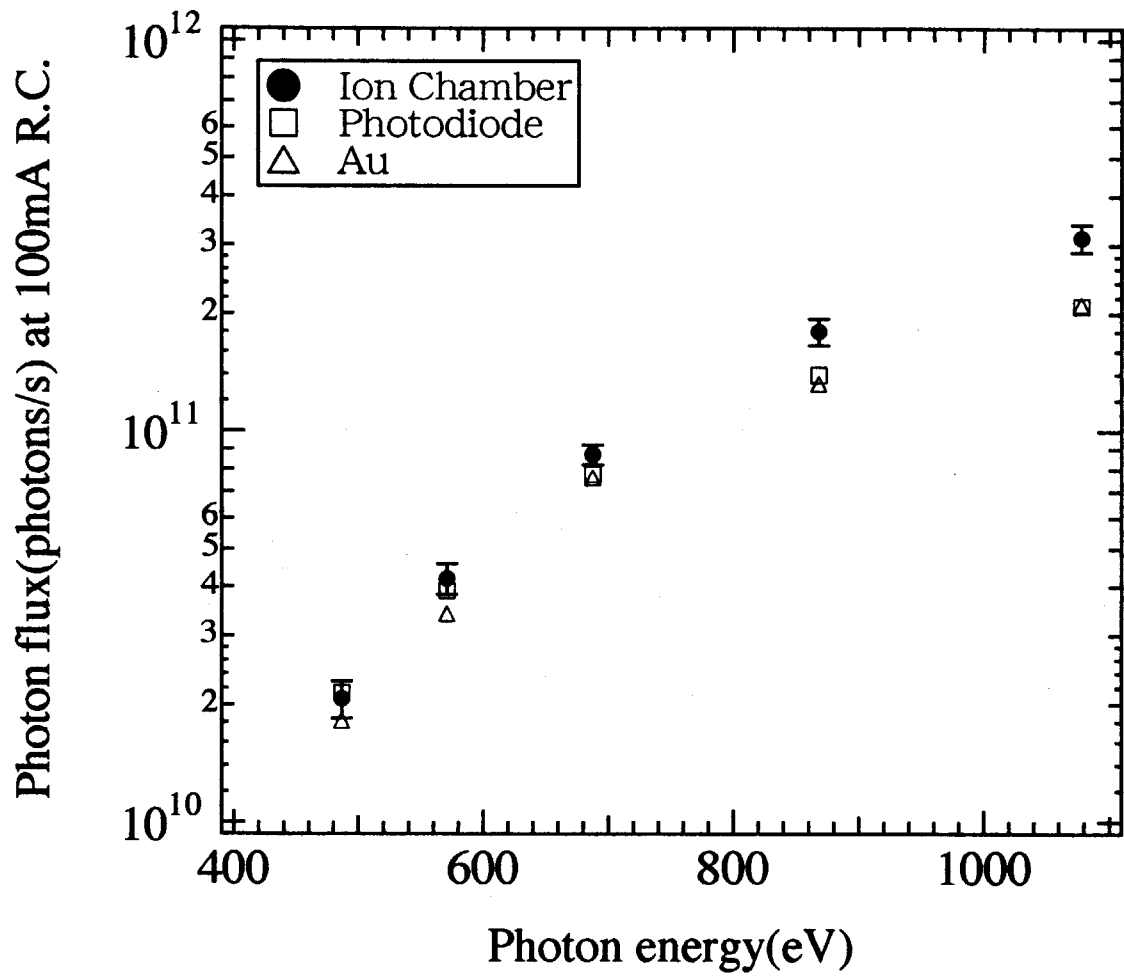


Fig. 4 : 多段式イオンチェンバーとフォトダイオード、金の蒸着膜による光子束測定  
の比較。イオンチェンバーのエラーバーは最もガス圧が低い場合の見かけ上の光子  
束の誤差を採用した。

付録 1 : ポリイミドフィルター (LEXEL社製サブミクロンフォイルCFS-Polyimide) の仕様

## 仕 様 書

製品名 : 米国LUXEL社製サブミクロンフォイル

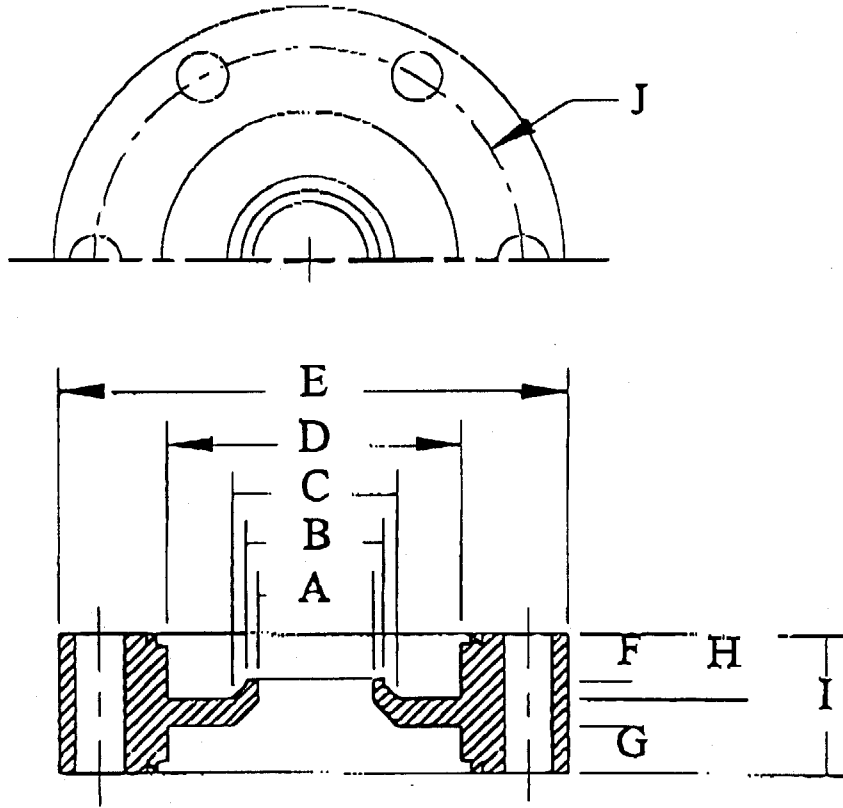
型 番 : CFS - Polyimide

仕 様 :

材 質	ポリイミド
厚 み	2000Å±100Å (サポートメッシュ無し)
フ レーム	CFM(ICF70フランジに該当) ※寸法図参照
透 過 率	別紙特性データ参照
耐 圧	20 torr (差圧)
耐久温度	150℃



LUXEL CORPORATION



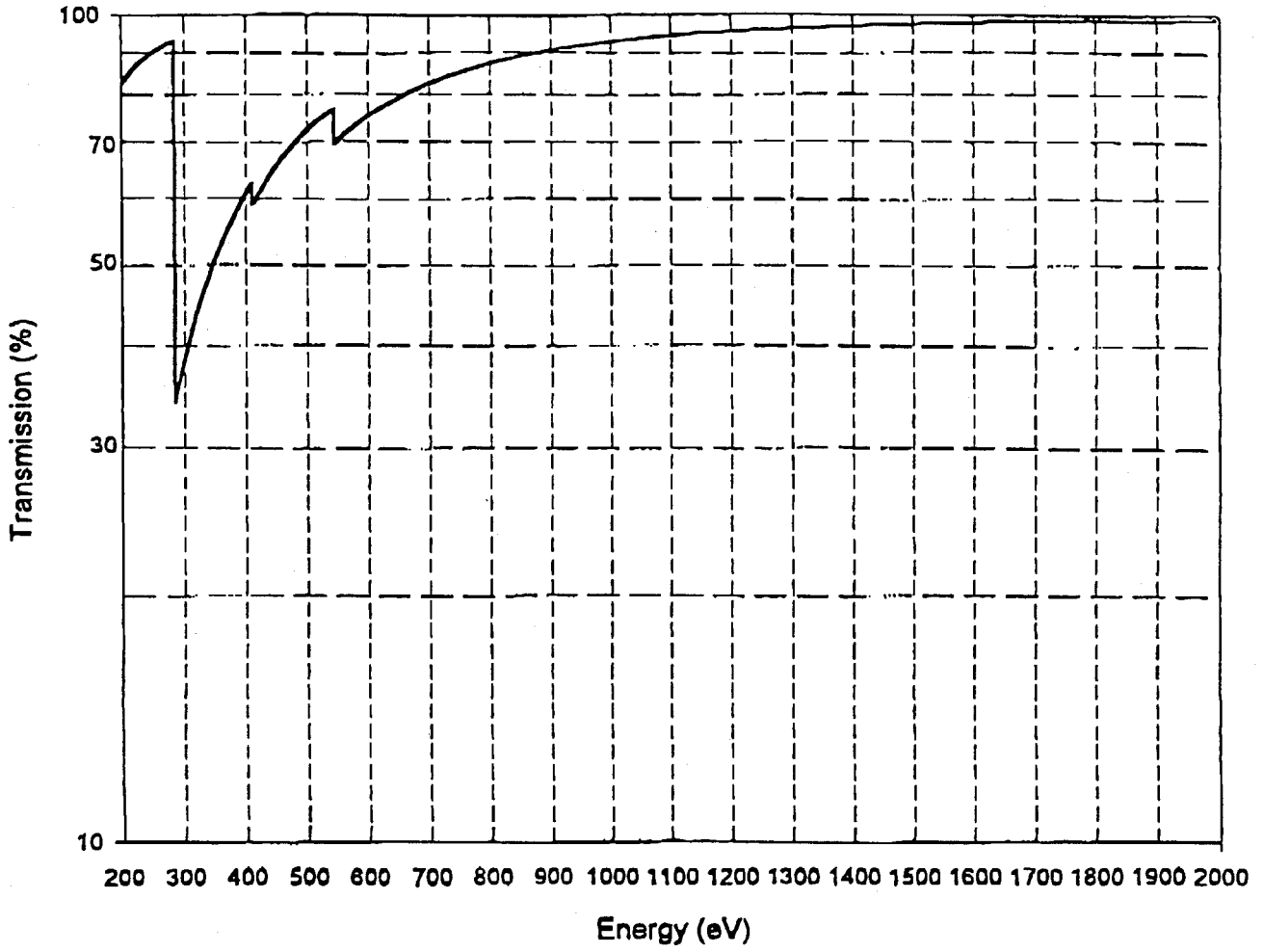
CFS and CFM dimensions (inches)									
	A	B	C	D	E	F&G	H	I	J
CFS	0.625	0.750	0.900	1.600	2.750	0.250	0.350	0.750	2.312
CFM	0.315	0.440	0.540	0.700	1.330	0.040	0.140	0.280	1.062
CFS and CFM dimensions, metric conversion (centimeters)									
	A	B	C	D	E	F&G	H	I	J
CFS	1.588	1.905	2.286	4.064	6.985	0.635	0.889	1.905	5.872
CFM	0.800	1.118	1.372	1.778	3.378	0.102	0.356	0.711	2.697

P.O. Box 1879 (Mail) • 515 Tucker Ave. (Parcels)  
Friday Harbor, WA 98250 USA

Tel: 360-378-4137 • Fax: 360-378-4266  
e-mail: luxel@pacificrim.net



Polyimide  
2000 Å thick



付録2：真空紫外一軟X線領域のアルゴンの $\gamma$ 値【文献3）より引用】

Table 2 Total cross sections, partial cross sections, and  $\gamma$ -value for Ar in the photon energy region from 44 eV to 1200 eV.

Energy (eV)	Cross Sections (Mb)							$\gamma$
	Total	Ar <sup>+</sup>	Ar <sup>2+</sup>	Ar <sup>3+</sup>	Ar <sup>4+</sup>	Ar <sup>5+</sup>	Ar <sup>6+</sup>	
44	1.40	1.38	0.023					1.02
45	1.17	1.14	0.032					1.03
46	1.02	0.983	0.035					1.04
48	0.908	0.859	0.048					1.05
50	0.937	0.869	0.067					1.07
52	1.01	0.914	0.093					1.10
54	1.15	1.02	0.125					1.11
56	1.27	1.11	0.152					1.12
60	1.40	1.21	0.190					1.14
65	1.45	1.22	0.225					1.16
70	1.46	1.22	0.242					1.17
75	1.47	1.22	0.251					1.17
80	1.46	1.21	0.251					1.17
85	1.44	1.19	0.252	0.0001				1.18
90	1.41	1.16	0.248	0.0008				1.18
95	1.38	1.14	0.235	0.0033				1.18
100	1.33	1.10	0.225	0.0042				1.18
110	1.24	1.03	0.207	0.0064				1.18
120	1.12	0.923	0.188	0.0071				1.18
130	1.06	0.865	0.185	0.0086				1.19
140	0.973	0.799	0.166	0.0083				1.19
150	0.901	0.743	0.150	0.0084	0.0001			1.19
160	0.820	0.673	0.138	0.0091	0.0004			1.19
170	0.755	0.617	0.128	0.0103	0.0005			1.20
180	0.689	0.563	0.115	0.0103	0.0006			1.20
190	0.642	0.521	0.110	0.0101	0.0008			1.21
200	0.586	0.475	0.100	0.0097	0.0009			1.21
210	0.531	0.427	0.0937	0.0099	0.0009			1.22
220	0.486	0.389	0.0865	0.0094	0.0009			1.22
230	0.428	0.341	0.0773	0.0088	0.0008			1.23
240	0.372	0.291	0.0715	0.0085	0.0008			1.24
243	0.403	0.302	0.101	0.0099	0.0010			1.30
252	4.60	0.340	3.83	0.411	0.016			2.02
260	4.17	0.258	3.53	0.369	0.014			2.03
270	3.91	0.253	3.26	0.377	0.012			2.04
280	3.37	0.245	2.68	0.424	0.019			2.06

軟 X 線絶対強度測定のための希ガスの  $\gamma$  値

701

290	3.19	0.242	2.40	0.517	0.033				2.11
300	3.01	0.196	2.22	0.562	0.034				2.15
310	2.76	0.163	2.02	0.541	0.034	0.0004			2.16
320	2.65	0.155	1.88	0.580	0.040	0.0008			2.19
330	2.52	0.140	1.67	0.652	0.054	0.0010			2.25
340	2.27	0.126	1.49	0.600	0.053	0.0007			2.26
350	2.03	0.111	1.32	0.545	0.056	0.0010			2.27
360	1.94	0.108	1.25	0.523	0.062	0.0014			2.28
380	1.70	0.094	1.08	0.456	0.066	0.0013			2.29
400	1.51	0.086	0.956	0.408	0.063	0.0018			2.30
430	1.28	0.073	0.803	0.345	0.057	0.0021			2.31
460	1.09	0.052	0.680	0.301	0.050	0.0026			2.33
500	0.918	0.041	0.558	0.267	0.049	0.0028			2.36
550	0.703	0.028	0.419	0.211	0.042	0.0025			2.39
600	0.598	0.024	0.349	0.184	0.039	0.0029	0.0000		2.41
650	0.487	0.020	0.279	0.151	0.034	0.0030	0.0001		2.43
700	0.407	0.016	0.229	0.129	0.029	0.0033	0.0002		2.45
750	0.350	0.014	0.194	0.111	0.027	0.0034	0.0004		2.46
800	0.301	0.013	0.164	0.098	0.023	0.0031	0.0004		2.47
850	0.262	0.011	0.142	0.086	0.020	0.0028	0.0005		2.48
900	0.230	0.0097	0.122	0.076	0.019	0.0026	0.0005		2.50
950	0.199	0.0086	0.105	0.066	0.017	0.0024	0.0004		2.50
1000	0.169	0.0073	0.087	0.058	0.014	0.0022	0.0004		2.51
1050	0.162	0.0071	0.082	0.055	0.015	0.0021	0.0005		2.53
1100	0.145	0.0072	0.072	0.050	0.013	0.0019	0.0005		2.53
1150	0.133	0.0056	0.066	0.047	0.012	0.0018	0.0004		2.55
1200	0.123	0.0054	0.062	0.043	0.012	0.0011	0.0001		2.52

This is a blank page.

# 国際単位系 (SI) と換算表

表 1 SI 基本単位および補助単位

量	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
物質質量	モル	mol
光度	カンデラ	cd
平面角	ラジアン	rad
立体角	ステラジアン	sr

表 3 固有の名称をもつ SI 組立単位

量	名称	記号	他の SI 単位による表現
周波数	ヘルツ	Hz	s <sup>-1</sup>
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	N·m
工率、放射束	ワット	W	J/s
電気量、電荷	クーロン	C	A·s
電位、電圧、起電力	ボルト	V	W/A
静電容量	ファラド	F	C/V
電気抵抗	オーム	Ω	V/A
コンダクタンス	ジーメンズ	S	A/V
磁束	ウェーバ	Wb	V·s
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	Wb/A
セルシウス温度	セルシウス度	°C	
光束度	ルーメン	lm	cd·sr
照射度	ルクス	lx	lm/m <sup>2</sup>
放射能	ベクレル	Bq	s <sup>-1</sup>
吸収線量	グレイ	Gy	J/kg
線量当量	シーベルト	Sv	J/kg

表 2 SI と併用される単位

名称	記号
分、時、日	min, h, d
度、分、秒	°, ', "
リットル	l, L
トン	t
電子ボルト	eV
原子質量単位	u

1 eV = 1.60218 × 10<sup>-19</sup> J  
 1 u = 1.66054 × 10<sup>-27</sup> kg

表 4 SI と共に暫定的に維持される単位

名称	記号
オンゲストローム	Å
バ	b
バ	bar
ガ	Gal
キュ	Ci
レントゲン	R
ラ	rad
レ	rem

1 Å = 0.1 nm = 10<sup>-10</sup> m  
 1 b = 100 fm = 10<sup>-28</sup> m<sup>2</sup>  
 1 bar = 0.1 MPa = 10<sup>5</sup> Pa  
 1 Gal = 1 cm/s<sup>2</sup> = 10<sup>-2</sup> m/s<sup>2</sup>  
 1 Ci = 3.7 × 10<sup>10</sup> Bq  
 1 R = 2.58 × 10<sup>-4</sup> C/kg  
 1 rad = 1 cGy = 10<sup>-2</sup> Gy  
 1 rem = 1 cSv = 10<sup>-2</sup> Sv

表 5 SI 接頭語

倍数	接頭語	記号
10 <sup>18</sup>	エクサ	E
10 <sup>15</sup>	ペタ	P
10 <sup>12</sup>	テラ	T
10 <sup>9</sup>	ギガ	G
10 <sup>6</sup>	メガ	M
10 <sup>3</sup>	キロ	k
10 <sup>2</sup>	ヘクト	h
10 <sup>1</sup>	デカ	da
10 <sup>-1</sup>	デシ	d
10 <sup>-2</sup>	センチ	c
10 <sup>-3</sup>	ミリ	m
10 <sup>-6</sup>	マイクロ	μ
10 <sup>-9</sup>	ナノ	n
10 <sup>-12</sup>	ピコ	p
10 <sup>-15</sup>	フェムト	f
10 <sup>-18</sup>	アト	a

(注)

- 表 1-5 は「国際単位系」第 5 版、国際度量衡局 1985 年刊行による。ただし、1 eV および 1 u の値は CODATA の 1986 年推奨値によった。
- 表 4 には海里、ノット、アール、ヘクタールも含まれているが日常の単位なのでここでは省略した。
- bar は、JIS では流体の圧力を表わす場合に限り表 2 のカテゴリーに分類されている。
- EC 閣僚理事会指令では bar、barn および「血圧の単位」mmHg を表 2 のカテゴリーに入れている。

## 換算表

力	N (=10 <sup>5</sup> dyn)	kgf	lbf
	1	0.101972	0.224809
	9.80665	1	2.20462
	4.44822	0.453592	1

粘度 1 Pa·s (= N·s/m<sup>2</sup>) = 10 P (ポアズ) (g/(cm·s))

動粘度 1 m<sup>2</sup>/s = 10<sup>4</sup> St (ストークス) (cm<sup>2</sup>/s)

圧	MPa (=10 bar)	kgf/cm <sup>2</sup>	atm	mmHg (Torr)	lbf/in <sup>2</sup> (psi)
	1	10.1972	9.86923	7.50062 × 10 <sup>3</sup>	145.038
力	0.0980665	1	0.967841	735.559	14.2233
	0.101325	1.03323	1	760	14.6959
	1.33322 × 10 <sup>-4</sup>	1.35951 × 10 <sup>-3</sup>	1.31579 × 10 <sup>-3</sup>	1	1.93368 × 10 <sup>-2</sup>
	6.89476 × 10 <sup>-3</sup>	7.03070 × 10 <sup>-2</sup>	6.80460 × 10 <sup>-2</sup>	51.7149	1

エネルギー・仕事・熱量	J (=10 <sup>7</sup> erg)	kgf·m	kW·h	cal (計量法)	Btu	ft·lbf	eV
	1	0.101972	2.77778 × 10 <sup>-7</sup>	0.238889	9.47813 × 10 <sup>-4</sup>	0.737562	6.24150 × 10 <sup>18</sup>
	9.80665	1	2.72407 × 10 <sup>-6</sup>	2.34270	9.29487 × 10 <sup>-3</sup>	7.23301	6.12082 × 10 <sup>19</sup>
	3.6 × 10 <sup>6</sup>	3.67098 × 10 <sup>5</sup>	1	8.59999 × 10 <sup>5</sup>	3412.13	2.65522 × 10 <sup>6</sup>	2.24694 × 10 <sup>25</sup>
	4.18605	0.426858	1.16279 × 10 <sup>-6</sup>	1	3.96759 × 10 <sup>-3</sup>	3.08747	2.61272 × 10 <sup>19</sup>
	1055.06	107.586	2.93072 × 10 <sup>-4</sup>	252.042	1	778.172	6.58515 × 10 <sup>21</sup>
	1.35582	0.138255	3.76616 × 10 <sup>-7</sup>	0.323890	1.28506 × 10 <sup>-3</sup>	1	8.46233 × 10 <sup>18</sup>
	1.60218 × 10 <sup>-19</sup>	1.63377 × 10 <sup>-20</sup>	4.45050 × 10 <sup>-26</sup>	3.82743 × 10 <sup>-20</sup>	1.51857 × 10 <sup>-22</sup>	1.18171 × 10 <sup>-19</sup>	1

1 cal = 4.18605 J (計量法)  
 = 4.184 J (熱化学)  
 = 4.1855 J (15 °C)  
 = 4.1868 J (国際蒸気表)  
 仕事率 1 PS (仏馬力)  
 = 75 kgf·m/s  
 = 735.499 W

放射能	Bq	Ci
	1	2.70270 × 10 <sup>-11</sup>
	3.7 × 10 <sup>10</sup>	1

吸収線量	Gy	rad
	1	100
	0.01	1

照射線量	C/kg	R
	1	3876
	2.58 × 10 <sup>-4</sup>	1

線量当量	Sv	rem
	1	100
	0.01	1

