

JAERI-Research

98-014



磁場中での細線電極イオン回収特性

1998年3月

足立 肇・田村浩司・小倉浩一・柴田猛順

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。

入手の問合わせは、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）で複写による実費領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, 1998

編集兼発行 日本原子力研究所  
印 刷 ㈱原子力資料サービス

磁場中での細線電極イオン回収特性

日本原子力研究所東海研究所燃料研究部

足立 肇・田村 浩司・小倉 浩一<sup>+</sup>・柴田 猛順

(1998年2月6日受理)

原子レーザー法同位体分離では、レーザー光で共鳴イオン化した目的同位体を電極に回収するが、電子ビーム偏向用磁場がイオン回収部にも印加される。短時間に効率よくイオンを回収する方法として先に提案した、アースまたは負電位の平行平板電極の中央に正電位の細線電極を用いた方法について磁場の影響を調べた。平行平板電極の中央に発生させた光電離イオンの両側電極での回収量のバランスは、150 ガウス以下の磁場により若干変化するが、回収時間は殆ど変わらず磁場の影響は小さいことが実験の結果わかった。

Effects of Magnetic Field on Photo-ionized Ion Collection  
with a Wire Electrode

Hajime ADACHI, Koji TAMURA, Koichi OGURA<sup>+</sup>  
and Takemasa SHIBATA

Department of Chemistry and Fuel Research  
Tokai Research Establishment  
Japan Atomic Energy Research Institute  
Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken

(Received February 6, 1998)

In atomic vapor laser Isotope separation (AVLIS), specific isotope ions produced by laser resonant photo-ionization are collected on electrodes, where magnetic field for electron beam deviation is applied in the region of the electrodes. We investigated effect of magnetic field on the ion collection using a positively biased wire-electrode set between two parallel plate electrodes with earth or negative potential, which we had proposed as an efficient method with shorter ion collection time compared with the conventional parallel electrode method. It has been made clear that ion collection time depends scarcely on the magnetic field, although balance of quantity of ion collected by both electrodes changes slightly with applying magnetic field up to 150 gauss.

Keywords: Ion Collection, Wire Electrode, Magnetic Field

---

<sup>+</sup> Advanced Photon Research Center

## 目 次

1. はじめに.....	1
2. 実験方法および装置 .....	2
3. 実験結果および考察 .....	3
4. まとめ.....	5
参考文献 .....	5

## Contents

1. Introduction .....	1
2. Experimental Method and Apparatus .....	2
3. Experimental Results and Discussion .....	3
4. Conclusion .....	5
References .....	5

This is a blank page.

## 1. はじめに

原子レーザー法同位体分離で、レーザー光照射部の原子密度を高くして特定同位体の分離を効率良く行なおうとすると、生成イオン密度も高くなる。イオン密度が高くなる同一印加電圧ではすべてのイオンを回収するのに要する時間（回収時間）が長くなる。回収電極の長さは有限なのでイオンの一部は回収電極に回収されず原子ビームとともに回収電極間を通過してしまい、回収効率が低下する。回収効率の低下をおさえるために回収時間ができるだけ短くなるように印加電圧を高くすると負電極に回収されるイオンの運動エネルギーも高くなる。高エネルギーイオンはすでに負電極に付着している目的同位体を弾き出してしまう。これまでに回収イオンのエネルギーを高くせずにイオン回収時間を短くするため、平行平板の回収電極の間に正電位印加の細線電極を置く方法を考案し、これが有効なことを確かめている<sup>1)</sup>。さらに回収電極に高周波電圧を印加することにより、効率的イオン回収を行なうことができることも示してきた<sup>2)</sup>。

原子レーザー法同位体分離装置では金属加熱蒸発用電子ビームの軌道制御のため数十ガウスの磁場が印加される。140ガウス以下で正負電圧印加時のイオン回収特性を調べており、磁場はイオン回収にほとんど影響がないことを明らかにしている<sup>3)4)</sup>。しかし、細線電極印加方式、高周波電圧印方式の効率的イオン回収のこれまでの実験は、磁場のないところで行った。細線電極方式では、細線に電子を集めてプラズマ電位を上昇させる。プラズマの電子温度は非常に低く0.1eV以下であり、0.1eVの電子は50ガウスの磁場中でのラーマー半径が0.2mmにしかない。このため磁場が印加されると電子を十分早く細線電極に集めることができず、プラズマ電位が細線電極の電位まで上昇しない可能性がある。この場合、イオン回収速度が低下してしまう。

ここではネオジムを用いて、磁場中での細線電極によるイオン回収特性を調べた。

## 2. 実験方法および装置

実験装置の概略図を Fig.1 に示す。エキシマレーザー励起のパルス色素レーザー光をネオジウム原子ビームに照射して共鳴イオン化でイオン化する。原子ビームは水冷銅るつぼ内のネオジウム金属を電子銃で加熱蒸発させて生成させた。得られた原子ビームに含まれる蒸発部生成プラズマは負電圧を印加した除去電極により除去した<sup>9)</sup>。除去電極およびスリットを通過した原子ビームはイオン回収電極間に入る。そこでパルスレーザービームを照射し、原子を共鳴電離させ、イオンを回収電極に回収すると同時にファラデーカップでイオン信号を計測した。レーザーはエキシマレーザー励起の波長 442.4nm の色素レーザーを使用し、1 波長 2 段階励起法によりネオジウム原子を電離させた。蒸気量は上方および基板下に設置した 2 つの水晶発振式膜厚計によりモニタした。真空容器外に置いた二つのコイルによりレーザービーム方向のほぼ一様な磁場をイオン回収部に印加した。

光反応およびイオン回収部の立面図を Fig.2 に、平面図を Fig.3 に示す。レーザー光の断面は直径 10 mm の円で 20 mm の回収電極間の中央にパルスの円柱状のプラズマができるようにした。光電離イオン発生部の大きさは長さ 92 mm、直径 10 mm である。直径 0.7 mm の細線電極の下端がちょうど生成プラズマの上端に触れるようにした。細線電極には正電圧を印加し、両側の回収電極はアース電位とし、生成イオンは回収電極に回収する。両側の回収電極には縦長の穴 (5 mm × 70 mm) を設けてある。回収イオンのうちこの縦穴を通過したイオンをファラデーカップイオン検出器で検出した。電極板スリットおよびファラデーカップの開口高さ幅はイオン回収時のプラズマの移動を考慮して、スリット幅のプラズマ生成領域のすべてのイオンが回収されるよう十分長くしてある。回収電極のイオン引出し穴およびファラデーカップの入口部にはステンレス製のメッシュ (透過率 81%) を張り、回収電極間、回収電極とファラデーカップ間の電場が穴や入口を設けても変化しないようにした。ファラデーカップはイオン回収時の対称性を見るために Fig.3 に示すように 3 個設けた。ファラデーカップのイオン検出板とアース間の抵抗 (1 k Ω) を介して流れるイオン電流による電圧の時間波形をオシロスコープで測定した。

Fig.4 に電極中心部磁場のコイル電流依存性を示す。Fig.5 はコイル電流 40 A のときの磁場分布で、(a) はレーザービーム方向、(b) はレーザービームに垂直な方向である。実験はコイル電流 0 A で 0 ガウスからコイル電流 ±30 A で中心磁場 ±150 ガウスの範囲で行った。なお、磁場の極性はレーザー入射方向と逆方向を正とした。

実験ではレーザー強度は固定し、蒸気量を調整してイオン密度をほぼ一定とし、細線電極印加電圧を固定して磁場の大きさをパラメータとして、レーザーパルス 1 ショット毎のファラデーカップイオン電流の波形を計測した。真空容器出口部のレーザー強度はおよそ 2 mJ であった。



### 3. 実験結果および考察

Fig.6~Fig.9 に実験結果の例でファラデーカップによる測定イオン電流波形を示す。Fig.6 は細線への印加電圧100V、下方の膜厚計蒸着速度約10 Å/s の場合である。(a) は磁場を印加していないとき、(b) (c) は中心磁場がそれぞれ75 Gauss、150 Gauss のときで、図の上段は Fig.3 に示した回収電極1側の2つのファラデーカップ(Cup 1, Cup 2)のイオン電流で、下段は回収電極2側のファラデーカップ(Cup 3)のイオン電流である。両方の回収電極側のファラデーカップ (Cup 1, Cup 3) のイオン電流波形を積分して得られた検出イオン電荷量 ( $Q_n, Q_B$ )、回収電極、イオン検出器入口のメッシュ透過率 ( $\eta=0.81$ )、電極板スリット幅とプラズマ生成部長さの比 ( $f=0.5\text{cm}/9.2\text{cm}=0.0543$ ) とプラズマ生成部体積 ( $V_f=9.2 \times 3.14/2^2=7.22\text{cm}^3$ )、単位電荷量 ( $q=1.6 \times 10^{19}$  Coulomb) を用いて次式により求めたプラズマ生成部の初期イオン密度  $ND_i$  の値をそれぞれ図の上段に示した。

$$ND_i = (Q_n + Q_B) / (q \times f \times \eta^2 \times V_f) \quad (1)$$

同様に Fig.7 は印加電圧100V、蒸着速度約20 Å/s の場合である。また、Fig.8 は印加電圧200V、蒸着速度約30 Å/s の場合、Fig.9 は印加電圧200V、蒸着速度約50 Å/s の場合で、(a)、(b)、(c)、(d) はそれぞれ印加磁場が0、75、150、-150 Gauss の場合である。Fig.6~Fig.9 より、磁場印加時にはイオン電流の立上がり磁場が無い場合に比べて少し遅くなっている。プラズマ生成直後は細線部先端のみしかプラズマに触れていない。このため磁場が印加されている場合、プラズマ電位が細線電極電位まですぐには上昇していないものと思われる。

次に Fig.6~Fig.9 のグラフより得られたイオン電流の立上がりから立下がりまでの時間すなわち回収時間と初期イオン密度との関係を Fig.10 に示す。図中、磁場の異なる場合を異なる記号で示してある。この図より印加電圧が同じ場合、磁場が変わってもほぼ同じ曲線上に乗ることから、イオン回収時間は磁場には殆ど依存しないことがわかる。同図中、実線は下記に示す磁場がない場合の簡易一次元モデルによる計算値である。

Fig.11 および Fig.12 には平行平板正負電極の場合の負電極へのイオン回収時間と初期イオン密度との関係の測定結果との比較を示す。Fig.11 は電極印加電圧が100V の場合、Fig.12 は電極印加電圧が200V の場合である。同一印加電圧、同一初期イオン密度の場合の回収時間は細線電極使用時の方が正負電極の場合の約半分と短いことがわかる。

前記の簡易一次元モデル<sup>1)2)</sup>の模式図を Fig.13 に示す。計算では生成プラズマの形状として13 mm × 6 mm の矩形を仮定した。この面積は直径10 mm の生成プラズマの断面と同じ面積になるようにした。プラズマの移動速度はネオジウム蒸気の上方向の速度の測定値<sup>7)</sup>を用い800 m/s とした。

実験でのネオジム原子のイオン化は Fig.14 に示すように 442.4nm の波長のレーザーにより基底レベルの原子を 1 波長 2 段階で  $45211\text{cm}^{-1}$  に励起しイオン化した。このエネルギーはイオンの基底レベル( $44562\text{cm}^{-1}$ )および第 1 励起レベル ( $+513\text{cm}^{-1}$ ) のエネルギーよりそれぞれ  $649\text{cm}^{-1}$ 、 $136\text{cm}^{-1}$  高く、比率は不明であるがこれらのエネルギーに相当する  $0.080\text{eV}$  と  $0.017\text{eV}$  の電子が放出されると考えられる。そこでプラズマの電子温度はこれらの平均の  $0.05\text{eV}$  とし、プラズマの膨張速度  $V_B$  を次式により求め  $110\text{m/s}$  とした。

$$V_B = 0.6(k \cdot T_e / m_i)^{1/2} \quad (2)$$

ここで、

プラズマ電子温度  $T_e = 0.05 \times 11600 = 580\text{K}$

ボルツマン定数  $k = 1.38 \times 10^{-23}\text{J/K}$

Nd イオン質量  $m_i = 144.2 \times 1.67 \times 10^{-27}\text{kg} = 2.41 \times 10^{-25}\text{kg}$

を用いた。

また、プラズマの流れ方向の温度( $T_z$ )は  $600\text{K}$  で原子ビーム速度広がり の平均値  $V_z$  を次式により求め、 $260\text{m/s}$  とした。

$$V_z = (3k \cdot T_e / m_i)^{1/2} \quad (3)$$

さらにまた、プラズマポテンシャルが細線電極の電位と等しくなる時刻はプラズマ生成後  $2\mu\text{s}$  とした。

Fig.10 の実線が細線電極使用時の計算結果である。磁場を考慮しなくても実験とほぼ一致していることがわかる。また、Fig.11、Fig.12 は正負電圧印加時と細線電極電圧印加時でそれぞれ印加電圧が  $100\text{V}$  および  $200\text{V}$  の場合で実線が計算結果である。このときも実験とほぼ一致している。

次に、細線電極使用時の両側の回収電極側のファラデーカップのイオン回収量の比 ( $R_{31} = Q_{31} / Q_n$ ) と印加磁場との関係の測定結果を Fig.15 に示す。図より磁場  $\pm 150$  ガウスでイオン回収量比  $R_{31}$  が  $20\%$  程度変化することがわかる。同図で磁場  $0$  ガウスで両側回収電極のイオン回収量の比が  $1$  と若干ずれているのは細線電極の位置が厳密には回収電極板の中央でなかったためと考えられる。しかし、 $\pm 150$  ガウス程度の磁場印加で 2 枚の回収電極に回収されるイオン量比がなぜ変化するかについてはまだ不明である。

#### 4. まとめ

細線電極を用いたイオン回収は、150 Gauss程度の磁場が印加されても、磁場の影響は小さく、有効であることが確認された。ただし、プラズマ生成直後のプラズマ電位上昇は磁場のないときに比べ、少し遅れている兆候が見られた。また、細線電極の両側の回収電極板へのイオン回収量のバランスに磁場印加による若干の変化が見られた。

なお、本報告は科学技術庁からの受託研究「レーザー法ウラン濃縮技術開発」で得られた研究成果の一部である。

#### 参考文献

- 1) Ogura K., Arisawa T., Shibata T. : Jpn. J. Appl. Phys. **31**, 1485 (1992)
- 2) Shibata T., Ogura K. : J. Nucl. Sci. and Tech. **33**, 834 (1996)
- 3) 小倉浩一、有沢 孝、柴田猛順 : 真空 **35**, 360 (1992)
- 4) Ogura K. and Shibata T. : Bull. Am. Phys. Soc. **41**, 1540 (1996)
- 5) Ohba H., Nishimura A., Ogura K. and Shibata T. : Rev. Sci. Instr., **65**, 657 (1994)
- 6) 小倉浩一、有沢 孝、柴田猛順 : JAERI-M 91-222 (1992)
- 7) 松本英也、池畑 隆、間瀬 寛、小倉浩一、柴田猛順 : JAERI-Research 97-025 (1997)

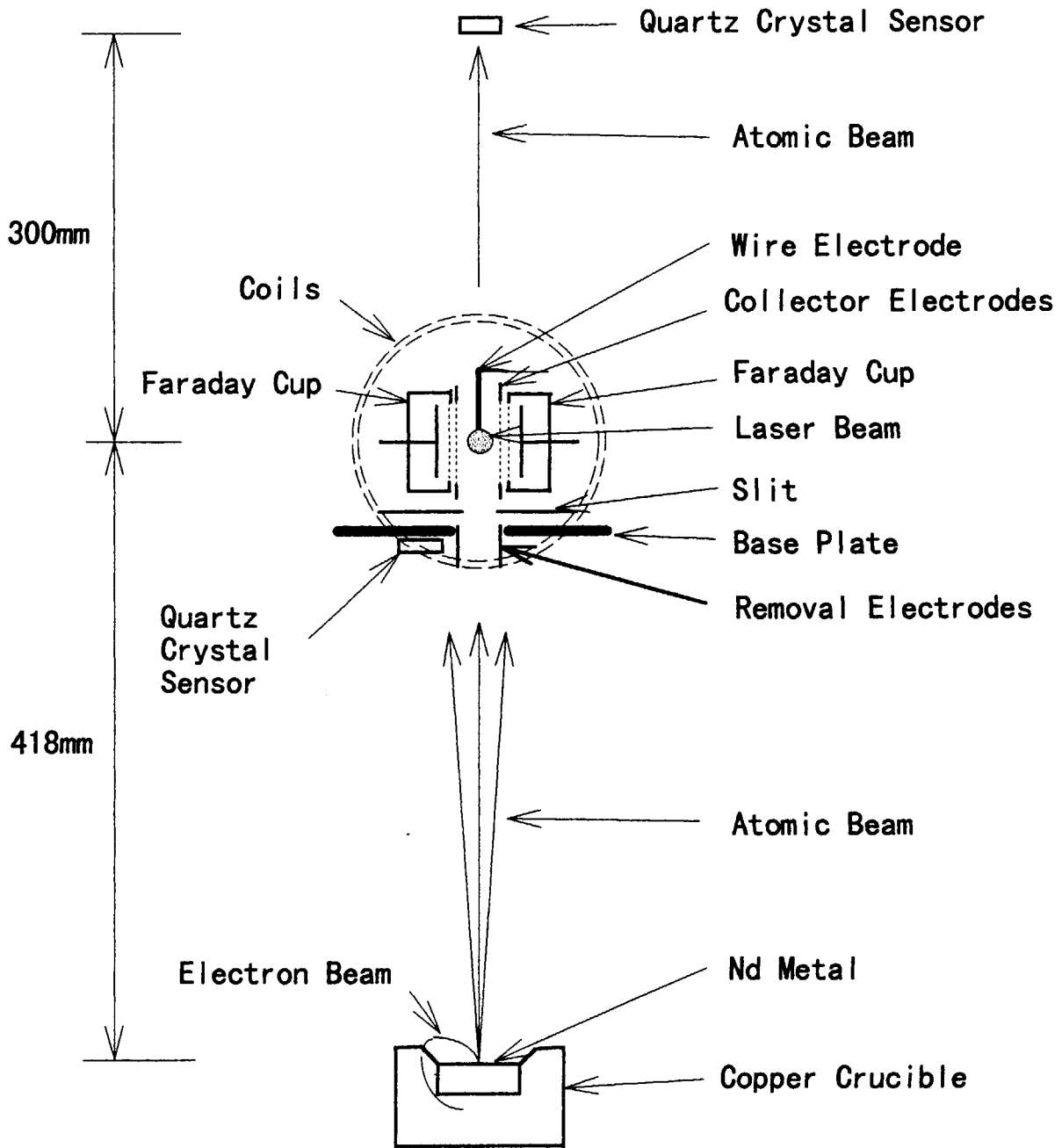


Fig.1 A schematic diagram of experimental setup in a vacuum chamber

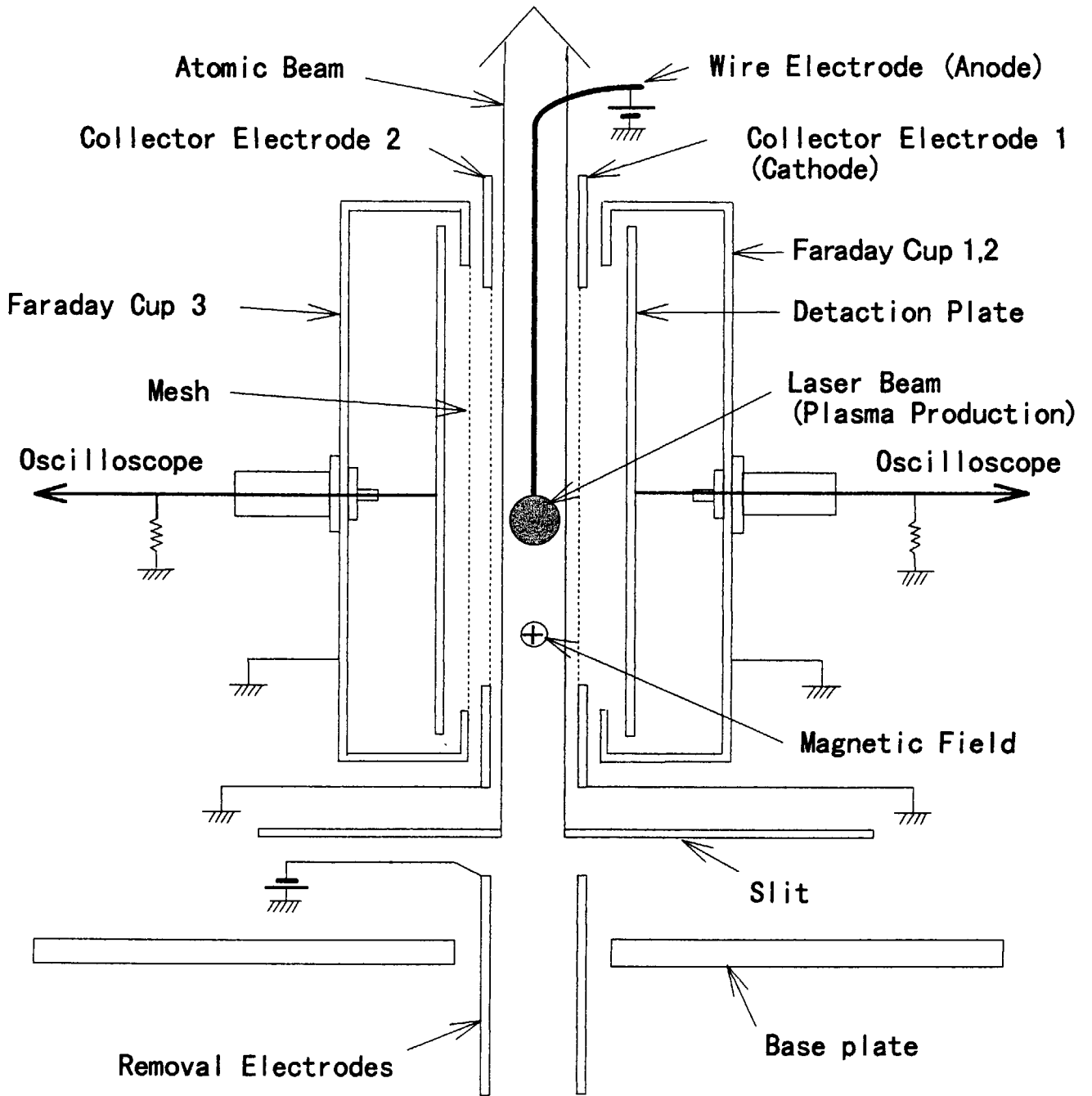


Fig. 2 A detailed diagram of the ion collection region ; Front view

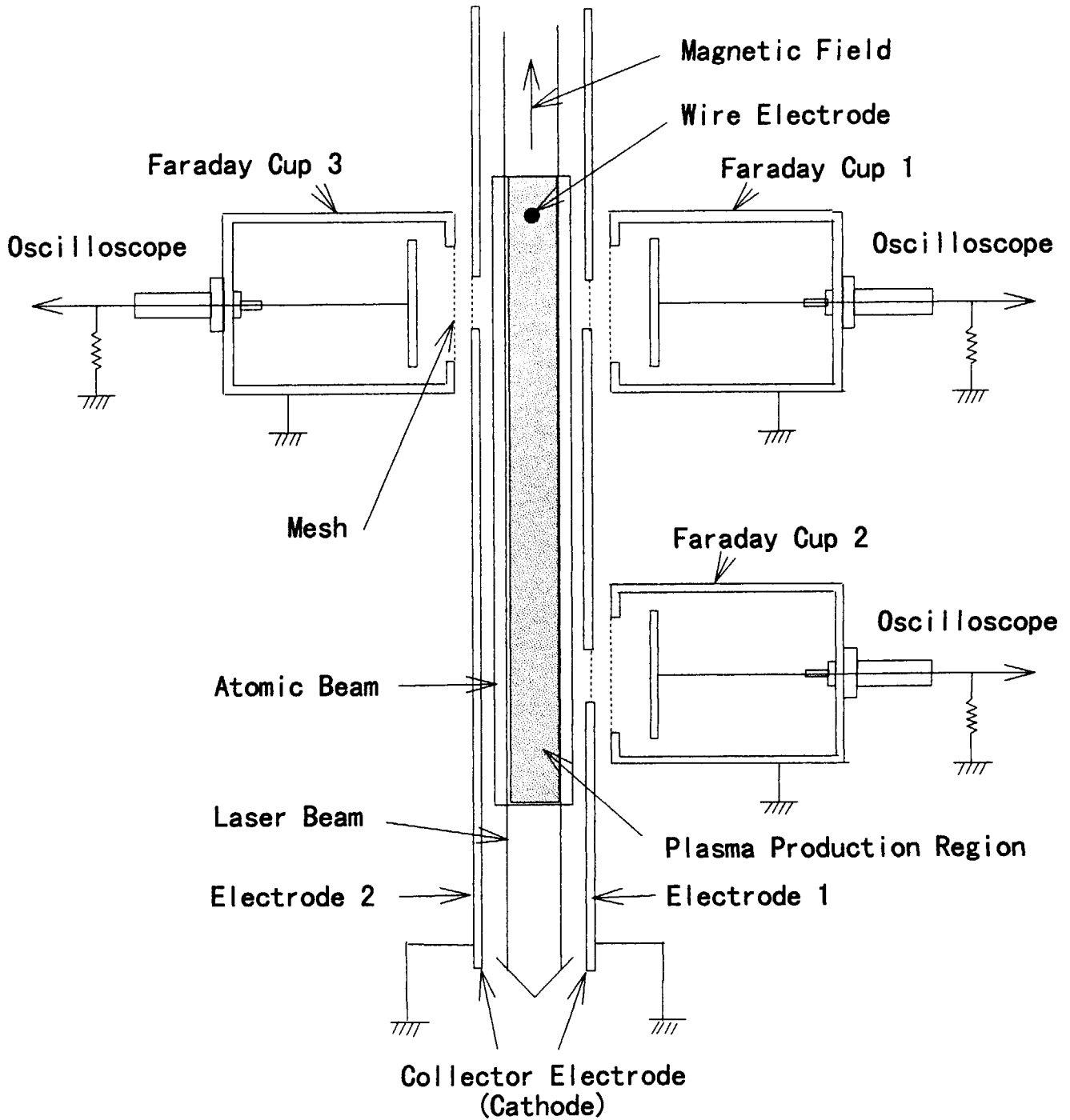


Fig. 3 A detailed diagram of the ion collection region ; Top view

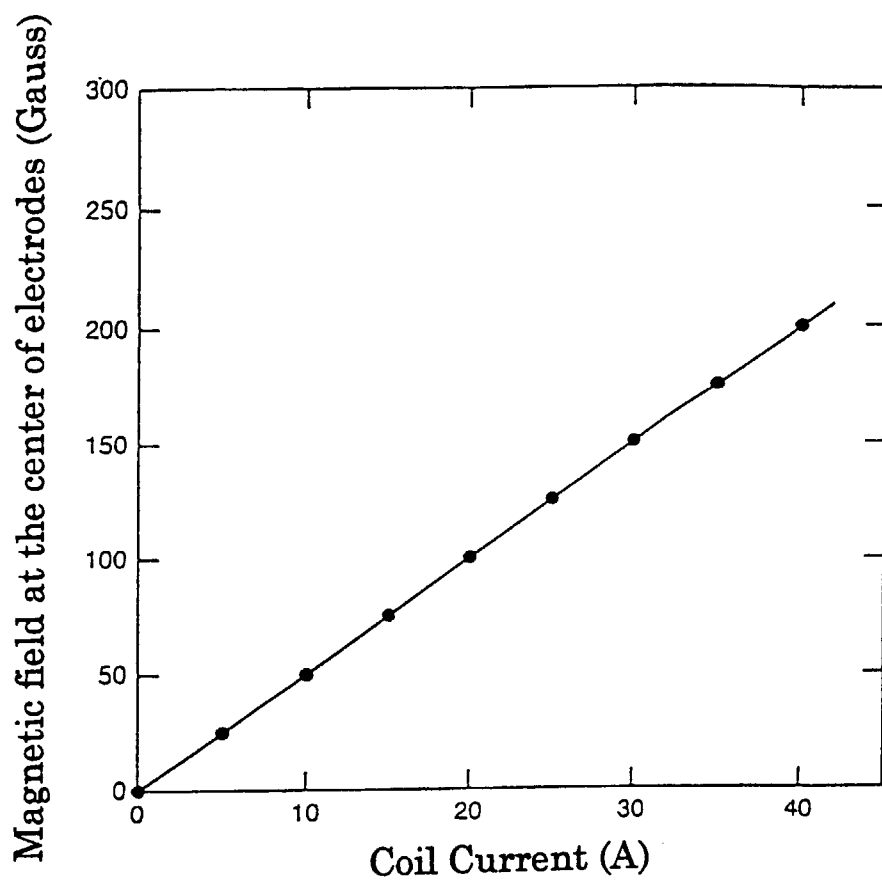
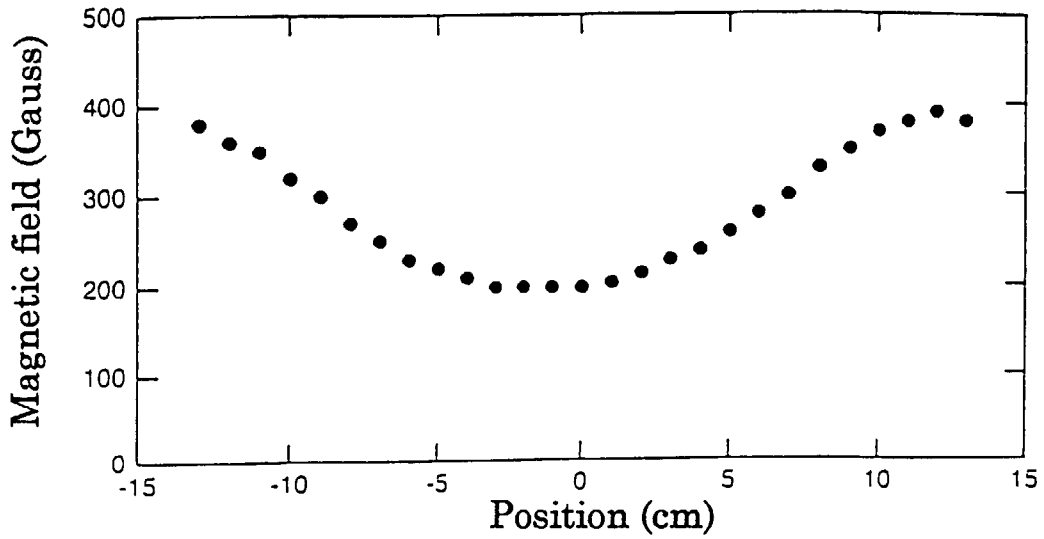
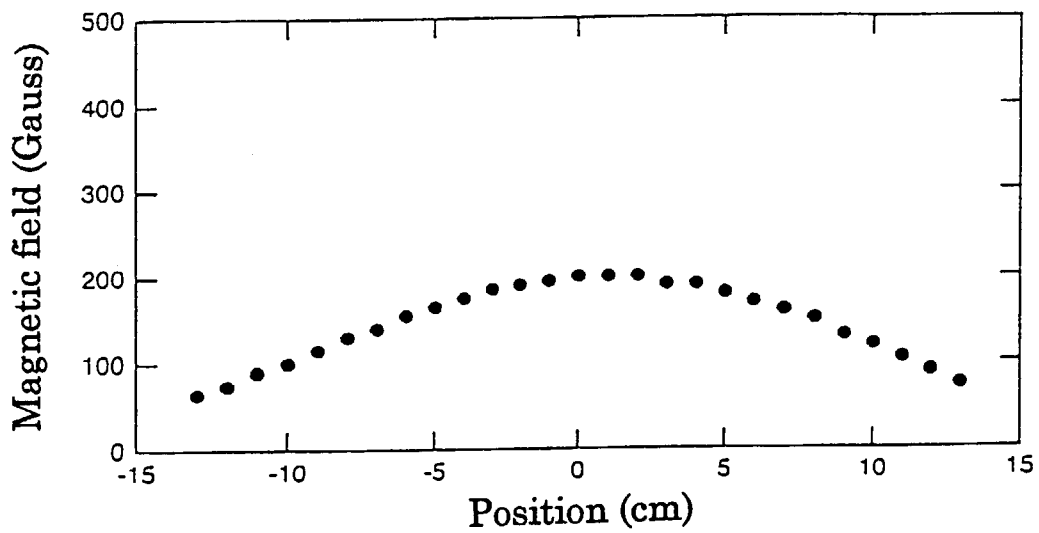


Fig.4 Relation between magnetic field at the center of electrodes and coil current.



(a) distribution in parallel direction to laser beam



(b) distribution in perpendicular direction to laser beam

Fig.5 Magnetic field distribution between electrodes  
( Coil Current: 40A )



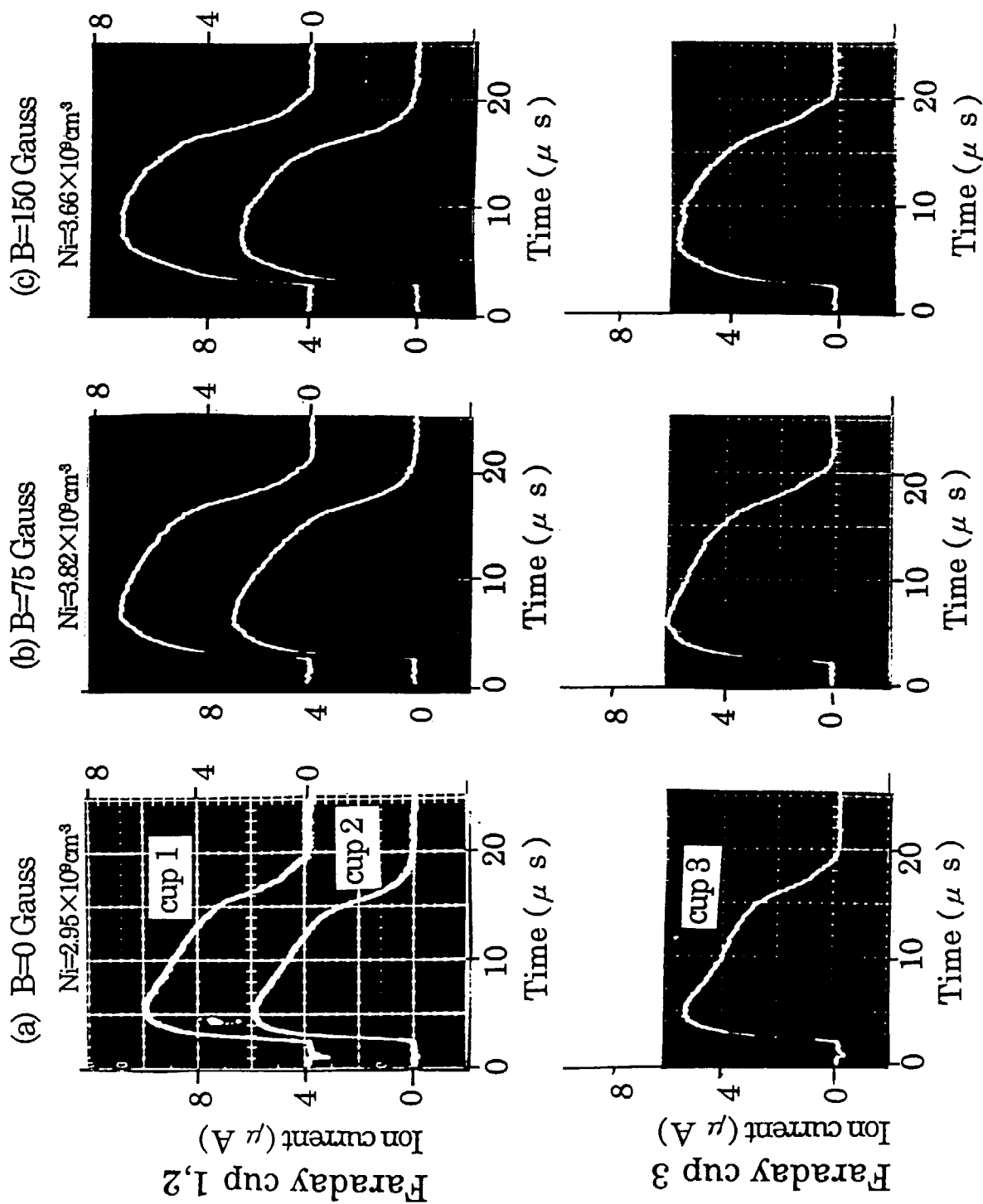


Fig.6 Examples of measured oscillograms of ion current by Faraday cups

(Case 1: Applied voltage on the wire electrode: 100V, Vapor deposition rate on quartz crystal sensor:  $\sim 10 \text{ \AA/s}$ ,  
 Magnetic field: B, Initial plasma density: Ni )

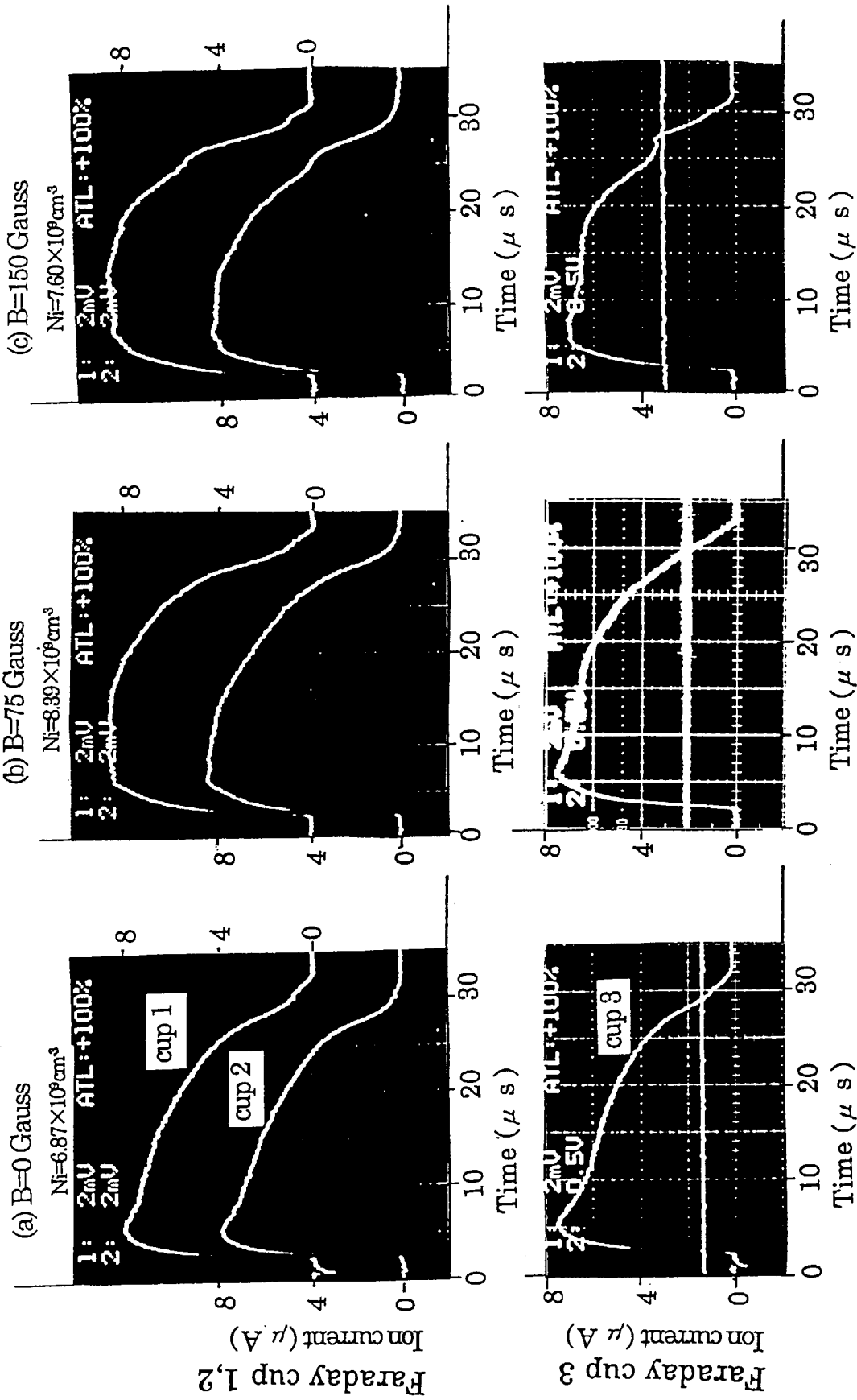


Fig.7 Examples of measured oscillograms of ion current by Faraday cups

(Case 1: Applied voltage: 100V, Vapor deposition rate on quartz crystal sensor:  $\sim 20 \text{ \AA/s}$ ,

Magnetic field: B, Initial plasma density: Ni )

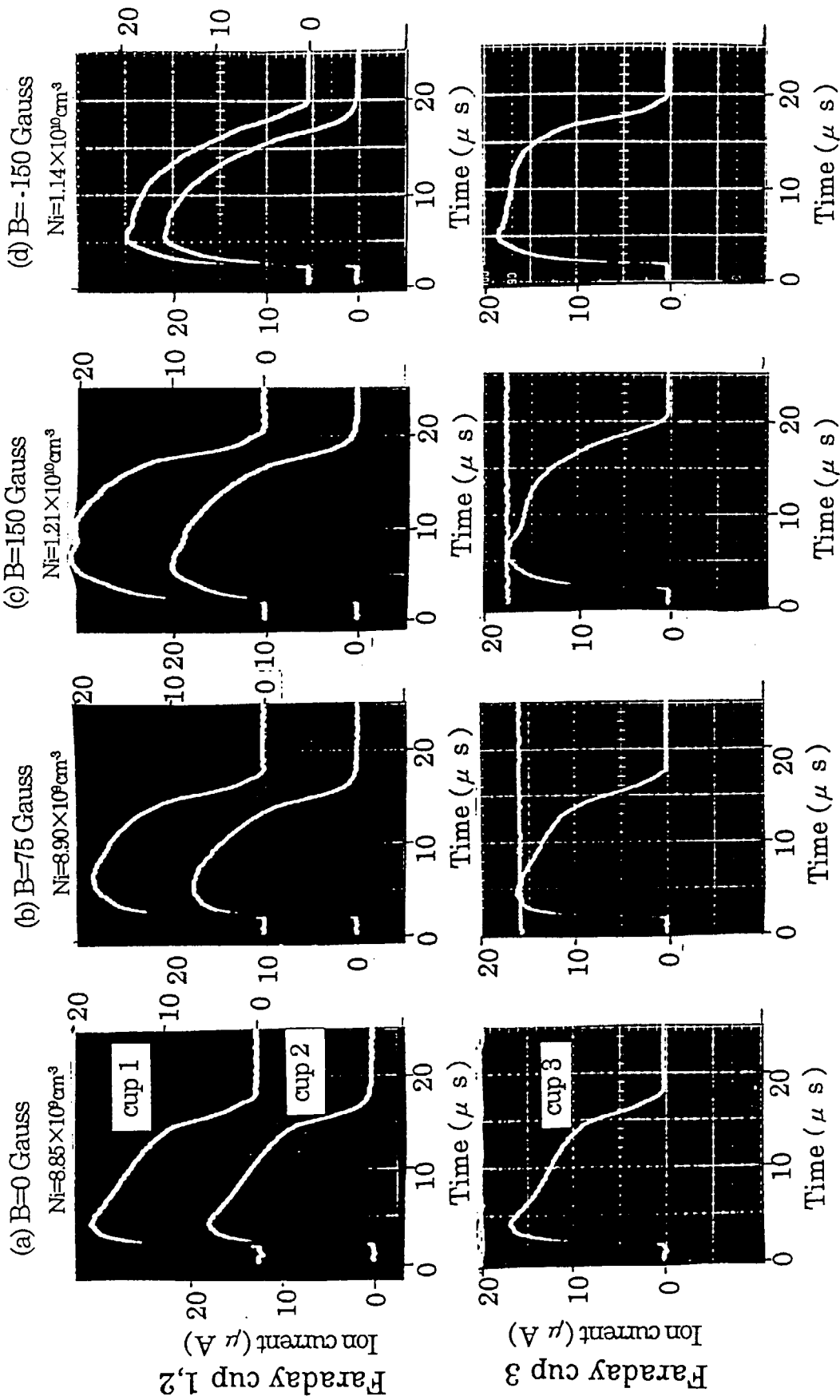


Fig.8 Examples of measured oscillograms of ion current by Faraday cups

(Case 1: Applied voltage on the wire electrode: 200V, Vapor deposition rate on quartz crystal sensor : ~30 Å/s,

Magnetic field : B, Initial plasma density : Ni )

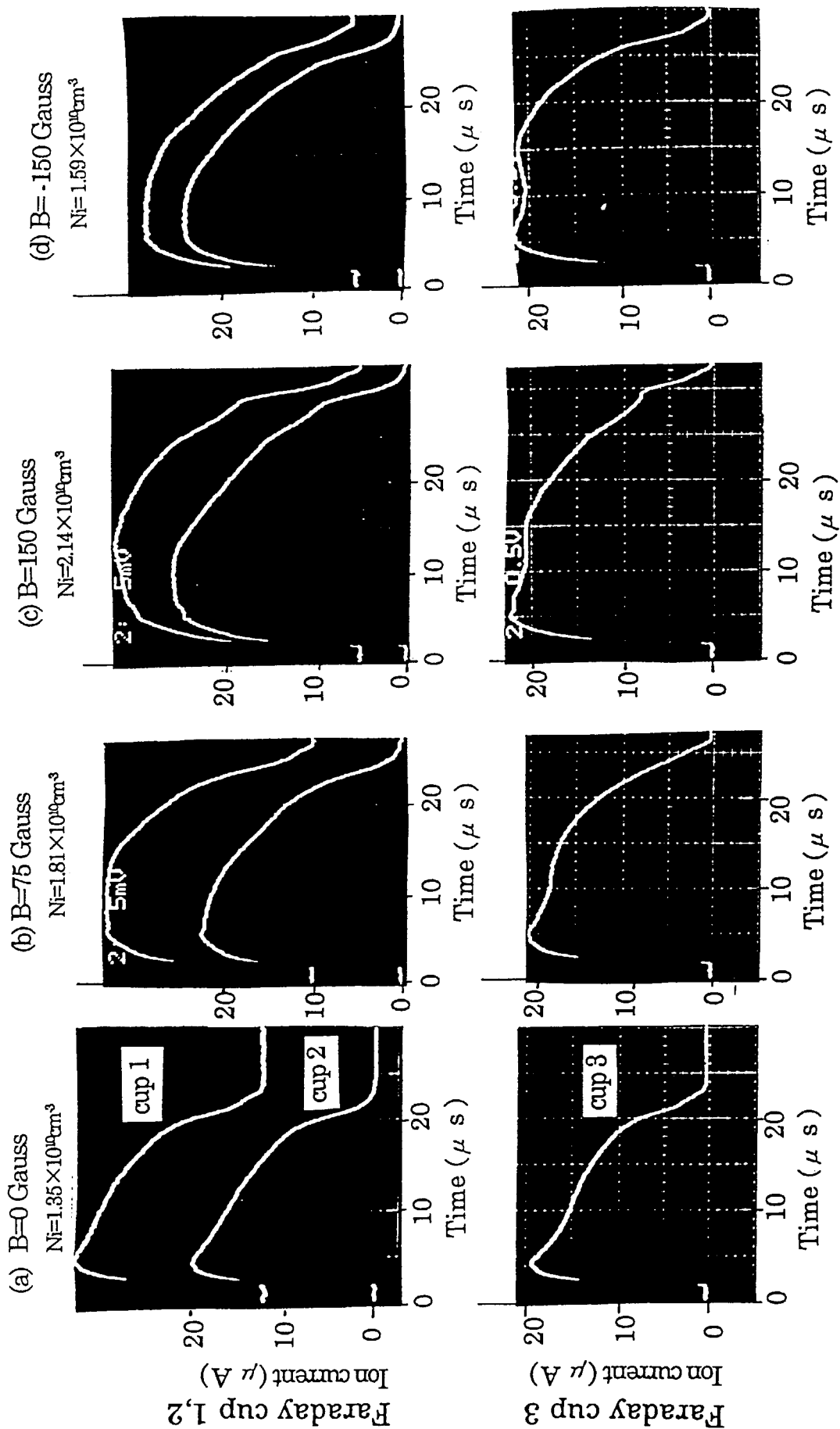


Fig.9 Examples of measured oscillograms of ion current by Faraday cups

(Case 1: Applied voltage on the wire electrode: 200V, Vapor deposition rate on quartz crystal sensor:  $\sim 50 \text{ \AA/s}$ ,

Magnetic field : B, Initial plasma density :  $N_i$  )

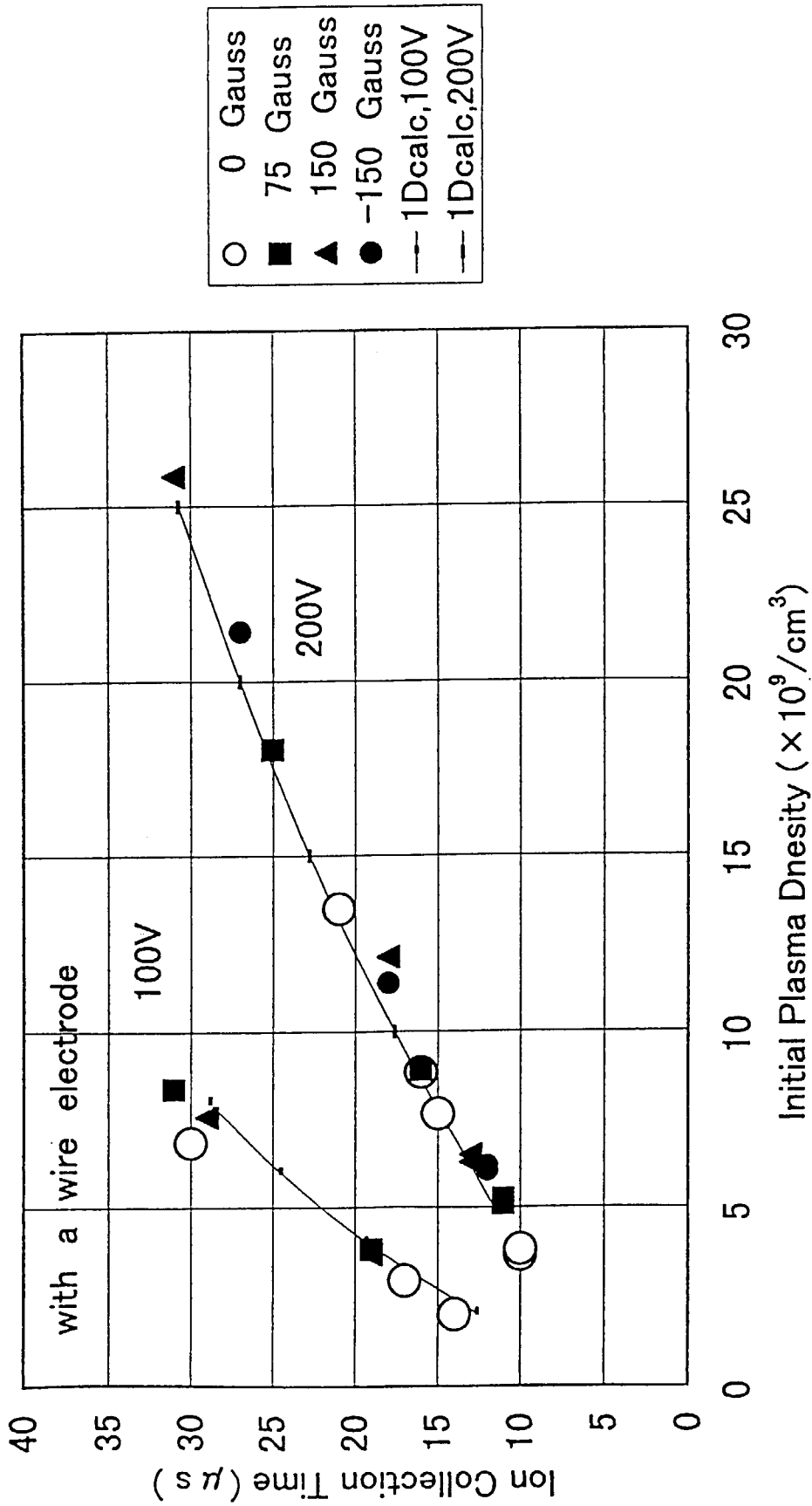


Fig.10 Relation between ion collection time and initial plasma density with various applied magnetic field in case of using a wire electrode.  
(points: measured results, solid line: 1 dimensional calculation)

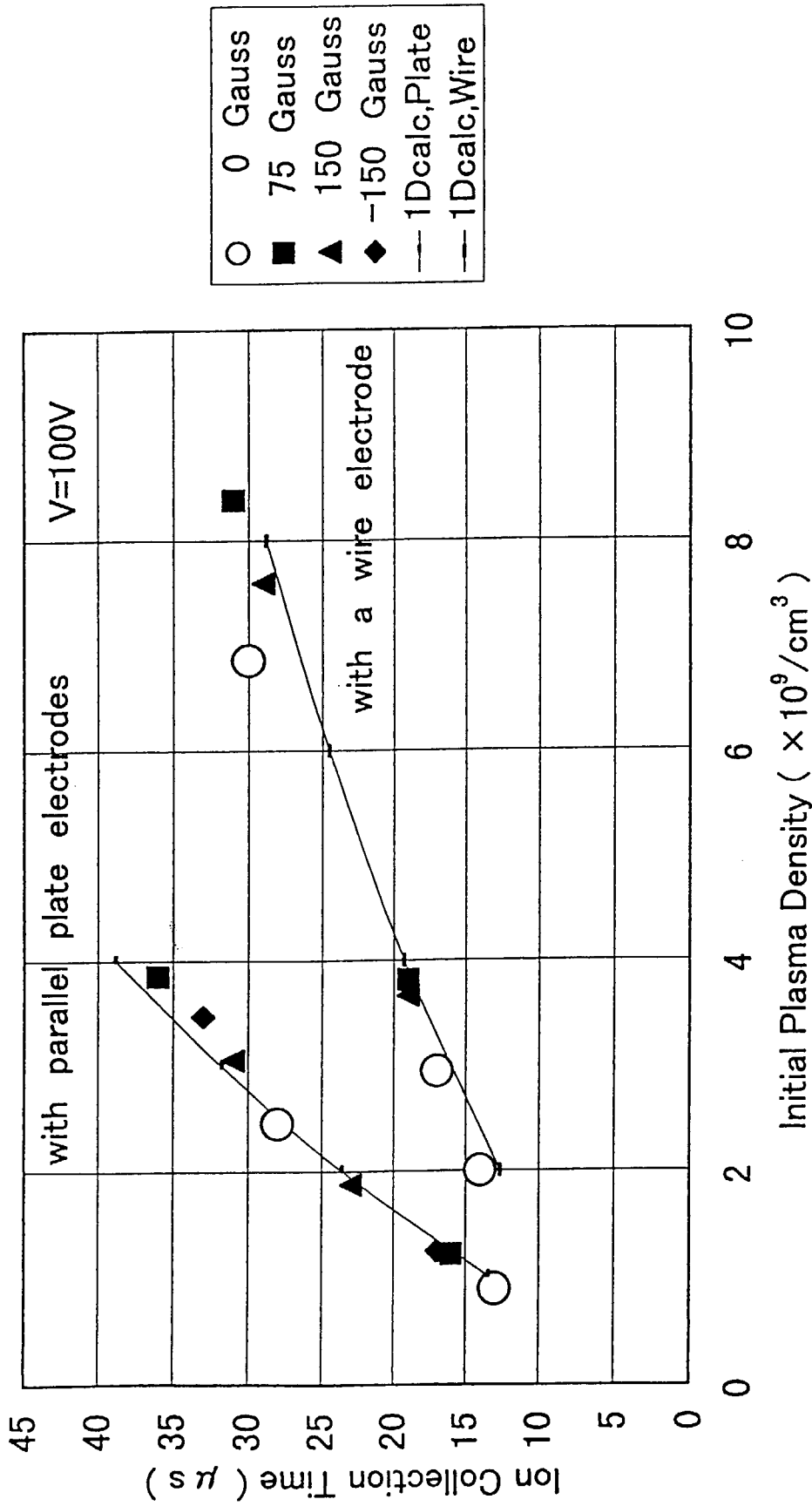


Fig.11 Comparison of ion collection time versus initial plasma density in case of parallel electrodes and of using a wire electrode . (applied DC electric voltage : 100V, points: measured results, solid line : 1 dimensional calculation)

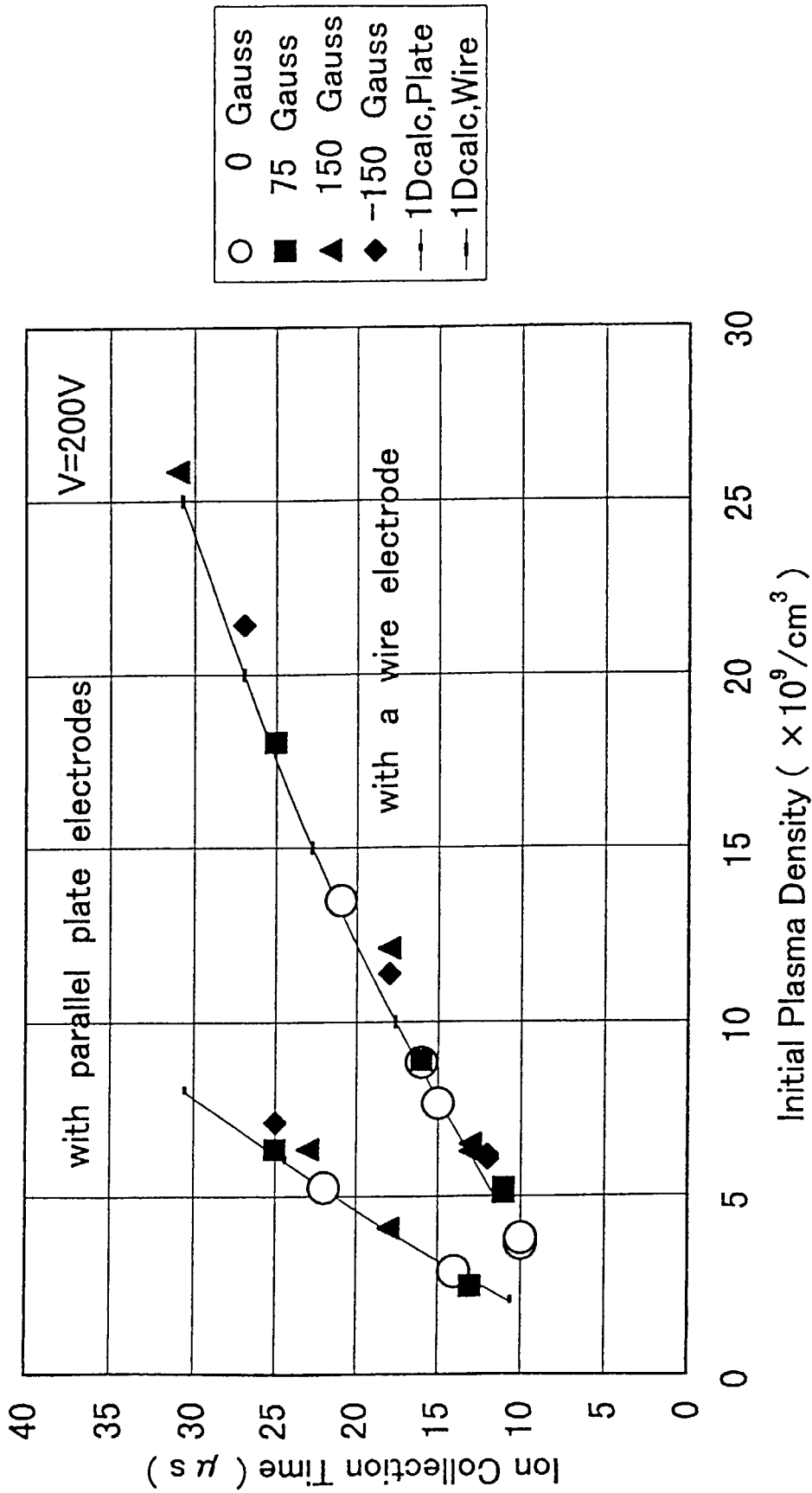
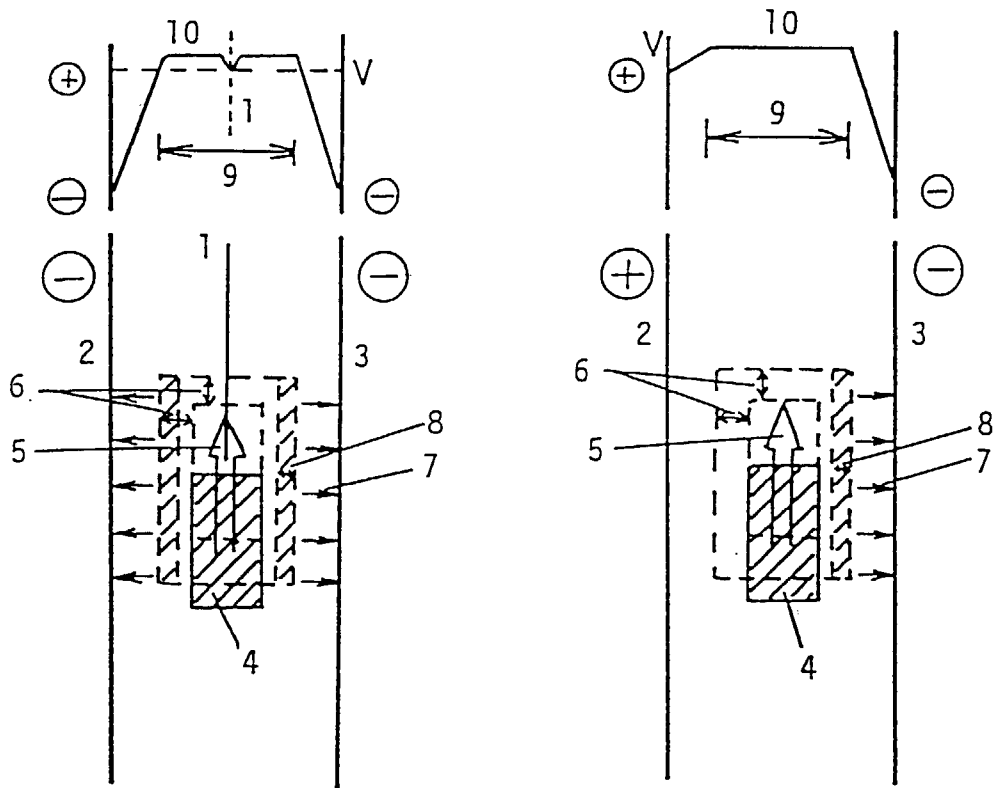


Fig.12 Comparison of ion collection time versus initial plasma density in case of parallel electrodes and of using a wire electrode. (applied DC electric voltage : 200V, points: measured results, solid line: 1 dimensional calculation)



(a) Wire Electrode Method      (b) Parallel Electrode Method

Fig.13 One-dimensional models for the two collection methods.  
 (a) Wire electrode method.    (b) Parallel electrode method.

- 1: Positively biased wire electrode;
- 2,3: Collector electrode;
- 4: Initial plasma;
- 5: Plasma flows with atomic beam;
- 6: Plasma expands with the Bohm velocity  $V_B$  ;

$$V_B = 0.6 \sqrt{\frac{kT_e}{m_i}}$$

- 7: Ions in the plasma are extracted at the rate of the space-charge-limited currents  $I$  ;

$$I = V^{3/2} / d^2$$

- 8: Retrograde motion of the plasma edge caused by ion extraction ;
- 9: Plasma region ;
- 10: Electrostatic potential distribution.



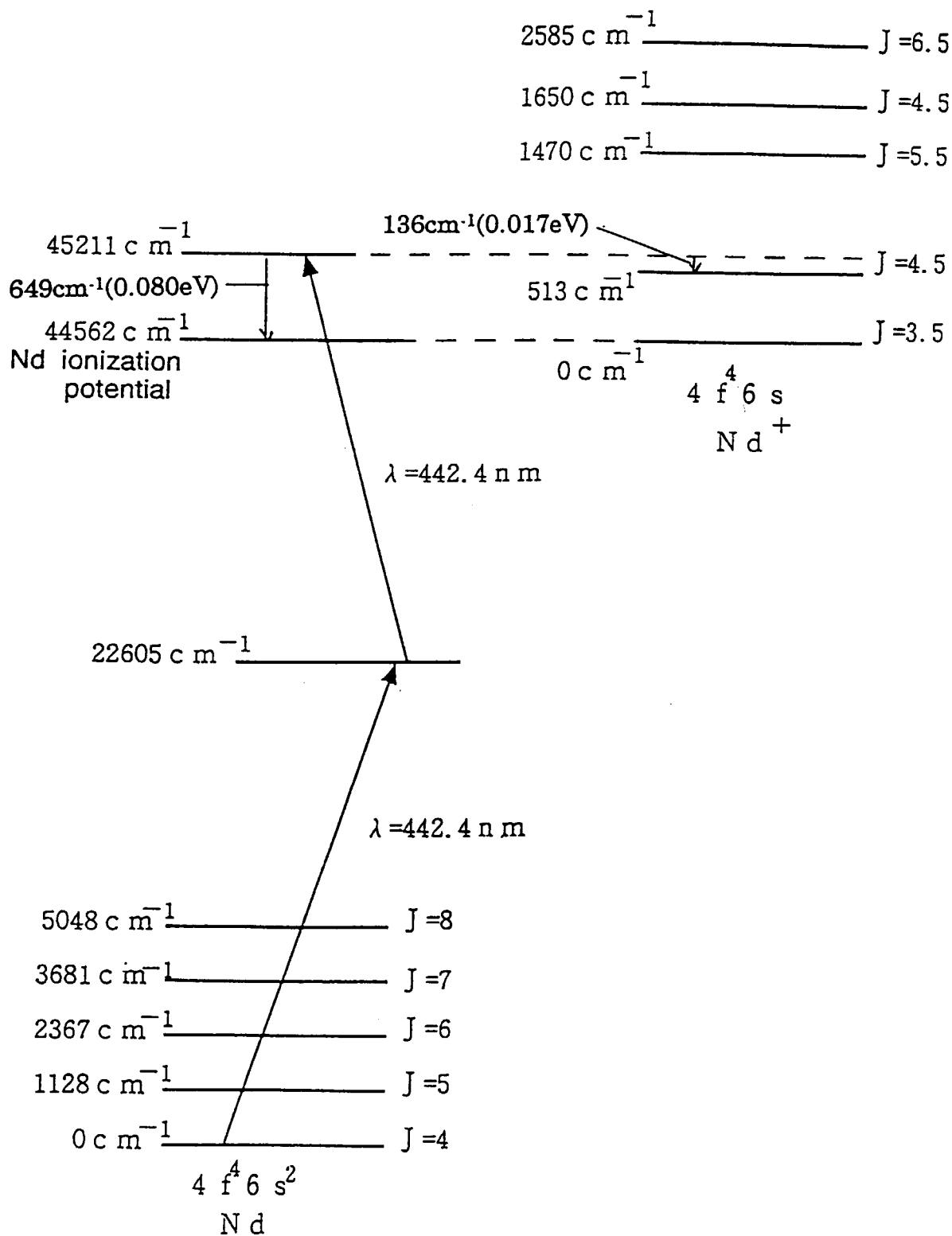


Fig.14 Resonant ionization scheme of neodymium atom.

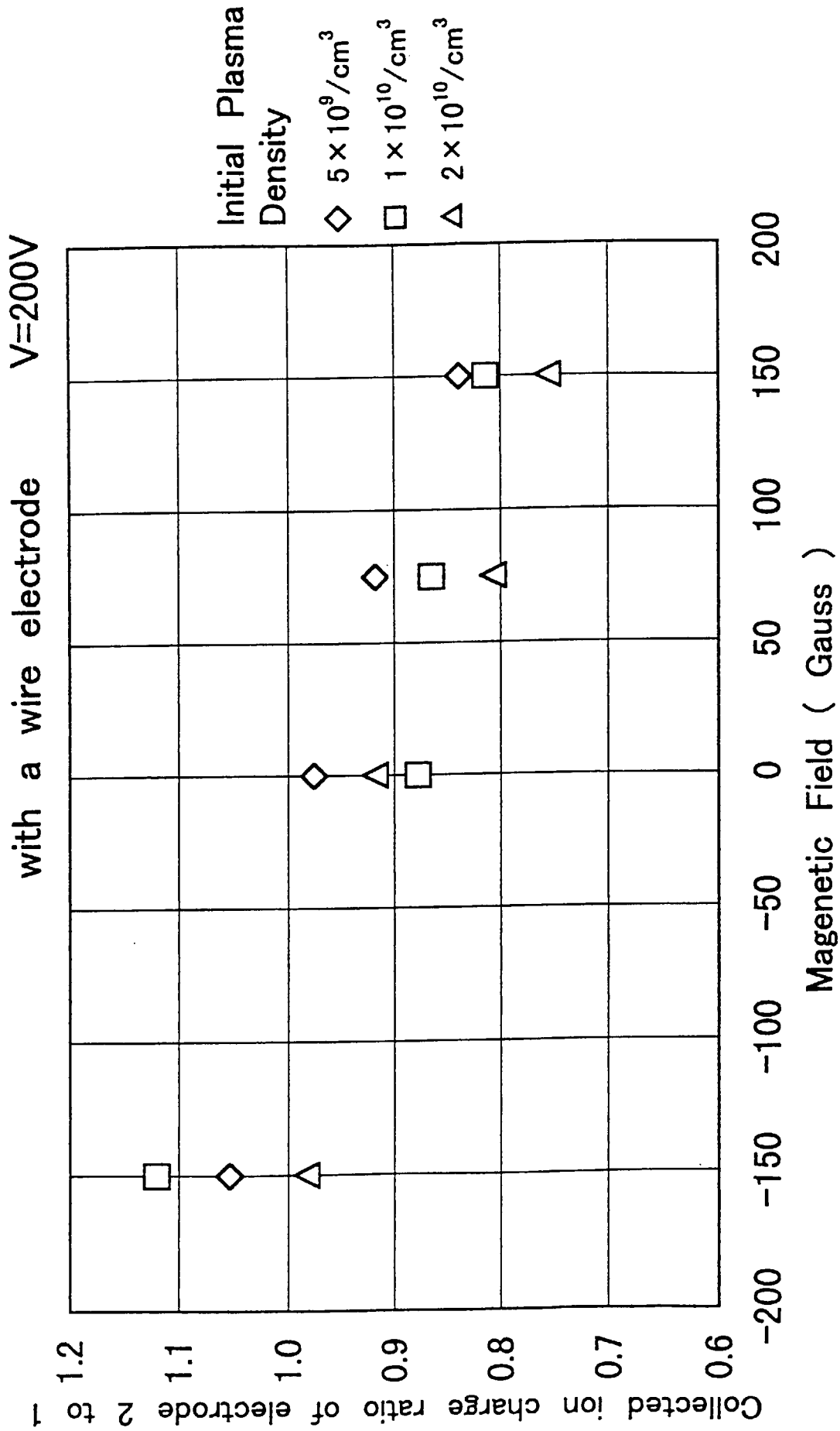


Fig.15 Dependence of collected ion charge ratio of parallel electrodes on magnetic field

# 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	ルーメン	lm	cd·sr
照度	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
オングストローム	Å
バ	b
バール	bar
ガリ	Gal
キュリー	Ci
レントゲン	R
ラド	rad
レム	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

磁場中での細線電極イオン回収特性