

JAERI - M
83-087

その場コーティング時の粒子のまわり込み
に関する実験的検討

1983年6月

阿部哲也・小原建治郎・横倉賢二

長谷川浩一・岡野文範

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 Section, Division of Technical Information, Japan Atomic Energy Research Institute, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken 319-11, Japan.

©Japan Atomic Energy Research Institute, 1983

編集兼発行 日本原子力研究所
印刷 髙野高速印刷

その場コーティング時の粒子のまわり込みに
関する実験的検討

日本原子力研究所東海研究所大型トカマク開発部
阿部哲也・小原建治郎・横倉賢二⁺
長谷川浩一⁺・岡野文範⁺

(1983年5月24日受理)

その場コーティング時の粒子のまわり込み機構を検討するため、JT-60ライナおよびRFランチャー模型を用いたコーティング実験を行った。

実験結果からコーティング粒子のまわり込みは、雰囲気ガスと粒子との空間での衝突散乱に因ることが明らかになった。同軸マグネトロン方式によるMo-Ar系の実験では、雰囲気アルゴン圧 $P_{Ar} = 8 \times 10^{-2} \text{ Pa}$ の条件下で、大部分のモリブデン粒子は直進したが、一部の粒子は飛翔方向に対して最大角 25° 程度のまわり込みを示した。長管を用いた実験により長手方向距離とまわり込み量との関係を整理した。

Experimental Studies on Scattered Particle Phenomena during In-situ
Coating Process

Tetsuya ABE, Kenjiro OBARA, Kenji YOKOKURA⁺,
Kooichi HASEGAWA⁺ and Fuminori OKANO⁺

Department of Large Tokamak Development,
Tokai Research Establishment, JAERI

(Received May 24, 1983)

Experiments were made to study the mechanism of the particle scattering phenomena during in-situ coating using models of liners and RF launchers for JT-60.

The experimental results indicate that the particle scattering phenomena are due to the collision scattering between coating particles and surrounding gas in a vacuum. Under a condition of $P_{Ar} = 8 \times 10^{-2}$ Pa, most of the evaporated particles go straight to the direction of projection, however small amount of particles are scattered within $\pm 25^\circ$ from the direction of projection. The degree of scattered particles can be expressed by a semi-empirical equation.

Keywords; In-situ coating, JT-60, Scattered particle phenomena,
Liner, RF launcher, Experimental Study

* Department of Thermonuclear Fusion Research.

目 次

1. はじめに	1
2. 実験	1
2.1 実験 I	1
2.2 実験 II	2
3. 実験結果および考察	2
3.1 実験 I について	2
3.2 実験 II について	3
4. まとめ	4
謝辞	5
参考文献	5

Contents

1. Introduction	1
2. Experimental Arrangements	1
2.1 Experiment I	1
2.2 Experiment II	2
3. Results and Discussions	2
3.1 Experiment I	2
3.2 Experiment II	3
4. Conclusions	4
Acknowledgements	5
References	5

1. はじめに

プラズマ実験装置では、プラズマ中に含まれる酸素(O)、炭素(C)などの軽元素不純物を排気除去するため、真空容器壁にチタンをその場でコーティング(in-situ coating)する方法がしばしば採用される。¹⁻²⁾一方、重い元素の不純物によるプラズマからのエネルギー損失を低減するため、不純物の主要な発生源である第一壁面を炭化チタン(TiC)などの低原子番号材で被覆(コーティング)することも行われている。³⁻⁵⁾ところで、このようなコーティング膜はトカマク放電中にエネルギー粒子と相互作用をなし、スパッタリング、プリスタリングなどにより侵食・損傷を受ける。⁶⁾したがって、これら損傷を受けたコーティング膜は、その都度、補修しなければならない。その場合、コーティング方法としては、操作の容易性・簡便性を考慮すると第一壁を取り付けた状態でコーティングするその場コーティング法が有利である。しかし、他方、その場コーティングを実施した場合、(1)蒸発源を直接見込む部分はすべてコーティングされる、(2)コーティング中の雰囲気圧力が高い場合、蒸発したコーティング粒子とガス分子が空間で衝突散乱を起こし、蒸発源を直接見込まない部分へもコーティング粒子がまわり込み、コーティングしてしまう可能性がある。⁷⁾その結果、(1)電気絶縁部の絶縁破壊、(2)コーティング膜によるのぞき窓のくもり、などの問題が起る。それゆえ、不必要な場所にコーティングされるのを防止するため、これらの部分を遮蔽物で覆うことにより、直接蒸発源を見込まないようにするという方法が一般に採られる。しかし、前述のように雰囲気ガス圧力が高い場合、蒸発源を直接見込まない部分へもコーティング粒子がまわり込むため、コーティング防止用の遮蔽物だけでは充分と言えない。上述のようにコーティング粒子のまわり込みによって種々の弊害が起るのにもかかわらず、このまわり込み現象を定量的に調べた報告は少ない。⁷⁻¹⁰⁾

本報告ではコーティング粒子のまわり込み現象を定量的に把握するために行った基礎的な実験について報告する。実験は2つに大別される。その1つはまわり込み現象の定性的把握を目的として、JT-60第一壁ライナを模擬したガラス製縮小模型にコーティングしてコーティング粒子のまわり込み現象を観察した。その2は、まわり込み現象の定量的把握を目的として、蒸発源からの距離とまわり込み量の関係を調べた。さらにこの結果に基づき、まわり込み現象の定量的説明を試みた。

2. 実 験

2.1 実験 I

実験 I では、JT-60第一壁ライナおよびRFランチャーの模型を蒸着装置内にFig.1およびFig.2のように配置し、それに直接コーティングすることによりまわり込み現象を定性的に観察した。ライナ模型はライナ相互の間隔をJT-60仕様を考慮して約5mmとした。またライナ固定台座高さは、まわり込み量の影響を観察するため56mmおよび206mmの2種類とした。RFランチャーは、太い円筒内部に多数の細い円管を配置した。これら模型は観察を容易にするため、すべてパイレックスガラスで製作した。

(1) コーティング方法：同軸マグネトロンスパッタ法¹¹⁾(JVX-I金属コーティング装置)

1. はじめに

プラズマ実験装置では、プラズマ中に含まれる酸素 (O)、炭素 (C) などの軽元素不純物を排気除去するため、真空容器壁にチタンをその場でコーティング (in-situ coating) する方法がしばしば採用される。¹⁻²⁾ 一方、重い元素の不純物によるプラズマからのエネルギー損失を低減するため、不純物の主要な発生源である第一壁面を炭化チタン (TiC) などの低原子番号材で被覆 (コーティング) することも行われている。³⁻⁵⁾ ところで、このようなコーティング膜はトカマク放電中にエネルギー粒子と相互作用をなし、スパッタリング、プリスタリングなどにより侵食・損傷を受ける。⁶⁾ したがって、これら損傷を受けたコーティング膜は、その都度、補修しなければならない。その場合、コーティング方法としては、操作の容易性・簡便性を考慮すると第一壁を取り付けた状態でコーティングするその場コーティング法が有利である。しかし、他方、その場コーティングを実施した場合、(1)蒸発源を直接見込む部分はすべてコーティングされる、(2)コーティング中の雰囲気圧力が高い場合、蒸発したコーティング粒子とガス分子が空間で衝突散乱を起し、蒸発源を直接見込まない部分へもコーティング粒子がまわり込み、コーティングしてしまう可能性がある。⁷⁾ その結果、(1)電気絶縁部の絶縁破壊、(2)コーティング膜によるのぞき窓のくもり、などの問題が起る。それゆえ、不必要な場所にコーティングされるのを防止するため、これらの部分を遮蔽物で覆うことにより、直接蒸発源を見込まないようにするという方法が一般に採られる。しかし、前述のように雰囲気ガス圧力が高い場合、蒸発源を直接見込まない部分へもコーティング粒子がまわり込むため、コーティング防止用の遮蔽物だけでは充分と言えない。上述のようにコーティング粒子のまわり込みによって種々の弊害が起るのにもかかわらず、このまわり込み現象を定量的に調べた報告は少ない。⁷⁻¹⁰⁾

本報告ではコーティング粒子のまわり込み現象を定量的に把握するために行った基礎的な実験について報告する。実験は2つに大別される。その1つはまわり込み現象の定性的把握を目的として、JT-60第一壁ライナを模擬したガラス製縮小模型にコーティングしてコーティング粒子のまわり込み現象を観察した。その2は、まわり込み現象の定量的把握を目的として、蒸発源からの距離とまわり込み量の関係を調べた。さらにこの結果に基づき、まわり込み現象の定量的説明を試みた。

2. 実 験

2.1 実験 I

実験 I では、JT-60第一壁ライナおよびRFランチャーの模型を蒸着装置内に Fig.1 および Fig.2 のように配置し、それに直接コーティングすることによりまわり込み現象を定性的に観察した。ライナ模型はライナ相互の間隔を JT-60 仕様を考慮して約 5 mm とした。またライナ固定台座高さは、まわり込み量の影響を観察するため 5.6 mm および 20.6 mm の 2 種類とした。RFランチャーは、太い円筒内部に多数の細い円管を配置した。これら模型は観察を容易にするため、すべてパイレックスガラスで製作した。

(1) コーティング方法：同軸マグネトロンスパッタ法¹¹⁾ (JVX-I 金属コーティング装置)

- (2) ターゲット材 (蒸発物質) : モリブデン
- (3) スパッタ条件 :
 - ① 周波数 13.56 MHz
 - ② 電力 0.51 kW
 - ③ 直流 (DC) バイアス -1.8 kV
 - ④ コーティング時間 90 分間
- (4) スパッタガス圧力 (アルゴン圧, P_{Ar}) 8×10^{-2} Pa
- (5) コーティング膜厚 : 最大 3 μ m
- (6) 模型材質 : パイレックスガラス
- (7) 膜厚測定 : 水晶振動子式膜厚計 (ANELVA, EVM-32B)

2.2 実験 II

実験 II ではまわり込み量の定量的把握のために Fig.3 および Fig.4 のような 2 種類の配置により実験を行った。すなわち Fig.3 では内径 3.2 mm のパイレックスガラス製ポート内の最前部に種々の面積を持った邪魔板を配置し、それを介してガラス製基板をポートの長手方向に対して平行あるいは垂直に配列し蒸発源から基板までの距離とまわり込みによるコーティング膜の厚さとの関係を測定した。コーティング膜の厚さは光濃度計によって測定した。また Fig.4 では内径 15.0 mm の SUS 304 製ポート内に一定の間隔で水晶振動子式膜厚計を配列し Fig.3 の場合と同様に蒸発源から基板 (ここでは膜厚計) までの距離とコーティング膜厚の関係を測定した。コーティング膜の厚さは水晶振動子式膜厚計により測定した。

- (1) コーティング方法 : 同軸マグネトロンスパッタ法 (JFT-2 金属コーティング装置)
- (2) ターゲット材 (蒸発物質) : チタン
- (3) スパッタ条件 :
 - ① 周波数 13.56 MHz
 - ② 電力 2.5~3 kW
 - ③ コーティング時間 30 分間
- (4) スパッタガス圧力 (アルゴン圧, P_{Ar}) : 9×10^{-2} Pa
- (5) 膜厚測定 :
 - ① 光濃度計 (JOYCE-LOEBL LIMITED, MICRODENSITOMETER-3CS)
 - ② 水晶振動子式膜厚計 (ANELVA, EVM-32B)

3. 実験結果および考察

3.1 実験 I について

Fig.1~2 の配置により 2.1 の条件で行ったコーティング後のダイナおよび RF ランチャー模型の概観写真を Fig.5~6 に示す。写真中で黒色部分がコーティングされたモリブデン膜である。また、このモリブデン膜の付着状態を模写したものを Fig.7~10 に示す。図中の数値はモリブデン膜の付着範囲 (単位 mm) および傾斜角度を示し、また濃く塗りつぶしたほどモリブデン膜が厚く付着してい

- (2) ターゲット材 (蒸発物質) : モリブデン
- (3) スパッタ条件 :
 - ① 周波数 13.56 MHz
 - ② 電力 0.51 kW
 - ③ 直流 (DC) バイアス -1.8 kV
 - ④ コーティング時間 90 分間
- (4) スパッタガス圧力 (アルゴン圧, P_{Ar}) 8×10^{-2} Pa
- (5) コーティング膜厚 : 最大 3 μ m
- (6) 模型材質 : パイレックスガラス
- (7) 膜厚測定 : 水晶振動子式膜厚計 (ANELVA, EVM-32B)

2.2 実験 II

実験 II ではまわり込み量の定量的把握のために Fig.3 および Fig.4 のような 2 種類の配置により実験を行った。すなわち Fig.3 では内径 32 mm のパイレックスガラス製ポート内の最前部に種々の面積を持った邪魔板を配置し、それを介してガラス製基板をポートの長手方向に対して平行あるいは垂直に配列し蒸発源から基板までの距離とまわり込みによるコーティング膜の厚さとの関係を測定した。コーティング膜の厚さは光濃度計によって測定した。また Fig.4 では内径 150 mm の SUS 304 製ポート内に一定の間隔で水晶振動子式膜厚計を配列し Fig.3 の場合と同様に蒸発源から基板 (ここでは膜厚計) までの距離とコーティング膜厚の関係を測定した。コーティング膜の厚さは水晶振動子式膜厚計により測定した。

- (1) コーティング方法 : 同軸マグネトロンスパッタ法 (JFT-2 金属コーティング装置)
- (2) ターゲット材 (蒸発物質) : チタン
- (3) スパッタ条件 :
 - ① 周波数 13.56 MHz
 - ② 電力 2.5~3 kW
 - ③ コーティング時間 30 分間
- (4) スパッタガス圧力 (アルゴン圧, P_{Ar}) : 9×10^{-2} Pa
- (5) 膜厚測定 :
 - ① 光濃度計 (JOYCE-LOEBL LIMITED, MICRODENSITOMETER-3CS)
 - ② 水晶振動子式膜厚計 (ANELVA, EVM-32B)

3. 実験結果および考察

3.1 実験 I について

Fig.1~2 の配置により 2.1 の条件で行ったコーティング後のライナおよび RF ランチャー模型の概観写真を Fig.5~6 に示す。写真中で黒色部分がコーティングされたモリブデン膜である。また、このモリブデン膜の付着状態を模写したものを Fig.7~10 に示す。図中の数値はモリブデン膜の付着範囲 (単位 mm) および傾斜角度を示し、また濃く塗りつぶしたほどモリブデン膜が厚く付着してい

ることを示す。Fig.7~10から、いずれの場合においてもモリブデン膜の大部分はモリブデンターゲットすなわち蒸発源を直接見込む領域に付着している。以下に、台座高さ5.6mmのライナ模型を例としてまわり込み現象を定性的に説明する。蒸発源との配置関係がFig.2のような台座高さ5.6mmライナ模型の側壁部Aのコーティング後の状況をFig.9Aに示す（Fig.2と比較するためには紙面の裏側から見る）。Fig.9A中に示されたモリブデン膜の付着傾斜角はFig.2中の配置から決まる幾何学的見込角と概略等しい値を示しているので、大部分のモリブデン粒子は蒸発源ターゲット部から直進してきているといえる。しかし、厳密に観察するならば一部分は明らかに見込角からずれた角度の部分に付着しており、これは、いわゆるまわり込み現象によってコーティングされたものである。

台座高さ5.6mmのライナ模型のモリブデンコーティング後の底面への付着状態をFig.10に、またFig.9の側壁Cとその底面部への付着状態を一緒にしてFig.11に示した。底面部に付着したモリブデン膜は蒸発源方向に対して最大25°程度のひろがり角度をもっている。この角度は蒸発源を直接的には見込まない角度であり、したがってこの部分は、いわゆるまわり込み現象によってコーティングされたものである。

3.2 実験IIについて

実験IIはまわり込み量の定量的把握を目的として行なったものであり、チタン(Ti)をコーティング物質として実験を行った。

Fig.12に3.2mmφのパイレックスガラス管を使用し、その最前部に種々の形状をした邪魔板を置いた場合の邪魔板からの距離XとTiコーティング膜の相対付着量 N/N_0 との関係を示す。Fig.12で、A、B、Cはガラス基板を配管長手方向に対して平行に配列（図示せず）、またD、Eは図示しているように配管長手方向に垂直に配列している。なお、Aには邪魔板を置いていない。A~Eとも基板上に付着したTiの絶対量は最前部の邪魔板面積が増加するにつれて減少した。また、A、B、CとD、Eとでは基板の配列方法が違っているにもかかわらず、距離Xの増加とともに、基板上に付着したTi量は減少している。Xの増加とともにTi量が減少する理由は空間でのTi粒子とArガスとの衝突散乱などによりTi粒子が飛翔途中で管壁上へ付着することに因るものと考えられる。

Fig.12のXとTi量とを片対数で整理したものがFig.13である。Xの範囲によって傾きが異なる2直線となるが、A~Eの実験結果は実験誤差の範囲内で同一直線上にのっている。

Fig.14に15.0mmφ円管についての、まわり込み実験結果を示した。これをXとTi量の片対数で整理したものがFig.15であり、直線となる。

Fig.13, 15からコーティング粒子のまわり込み量は次の実験式(1)に整理することができる。

$$N/N_0 = k \exp(-X/\lambda) \quad (1)$$

ここで $N : X = X$ でのTi量

$N_0 : X = 0$ でのTi量

k : 定数

λ : 定数

(1)式は平均自由行程 λ をもった粒子の衝突散乱損失のようすを表わすものと考えられる。¹²⁾

Fig.13, 15から(1)式の λ を算出すると, Fig.13では $X \leq 4.5 \text{ mm}$; $\lambda = 1.1 \text{ mm}$, $X > 4.5 \text{ mm}$; $\lambda = 3.0 \text{ mm}$ となり, また Fig.15では, $\lambda = 7.7 \text{ mm}$ となる。 λ を平均自由行程とすると, λ はTi粒子とArガス分子との空間での衝突平均自由行程 λ_0 と管径 ϕ との相互関係で決まると考えてよく, しかも, その物理的意味から両者のうち, 値の小さい方で代表させることができるであろう。

$$\text{すなわち} \quad \lambda_0 \geq \phi \text{ のとき} \quad \lambda \simeq \phi \quad (2)$$

$$\lambda_0 < \phi \quad \text{ " } \quad \lambda \simeq \lambda_0 \quad (3)$$

となる。

λ_0 の値は混合気体が完全に熱的平衡状態にある場合には, 気体分子運動論から比較的容易に算出することができるが;¹²⁾ 本実験のように熱的平衡にない場合 (スパッタされたチタン粒子は数 eV のエネルギーをもっている)¹³⁾ には, 簡単に算出することはできない。しかし一般に粒子のエネルギーが高くなると平均自由行程が長くなる¹²⁾ことが知られているので, ここではTi粒子とArガス分子とが完全熱的平衡状態にあるものとして λ_0^* を算出し, $\lambda_0 \geq \lambda_0^*$ として以下の考察を行う。

Ti粒子とArガスとの混合気体が完全熱的平衡状態にあるものとして気体分子運動論により本実験条件を用いてTi粒子の平均自由行程を計算すると, $\lambda_0^* \simeq 9.0 \text{ mm}$ と概算される。したがって前述のように $\lambda_0 \geq 9.0 \text{ mm}$ となることを考慮に入れて Fig.13, 15の結果を検討してみると, Fig.13については(2)式より $\lambda \simeq \phi$, Fig.15については(3)式より $\lambda \simeq \lambda_0 \geq \lambda_0^*$ となるであろう。それぞれの図中に示した λ の値はほぼ, これを満足している。なお Fig.13 で $X \leq 4.5 \text{ mm}$ の領域で $\lambda = 1.1 \text{ mm}$ となるのは前面に設けた邪魔板の影響により見掛け上の管径(ϕ)が小さくなったからであると思われる。

4. ま と め

- (1) JT-60第1壁ライナおよびRFランチャー配位を模擬した装置へのマグネトロンスパッタ方式により蒸発させたコーティング粒子のまわり込み現象を観察した。

まわり込み現象はコーティング粒子と空間に存在するガス分子との衝突散乱によるものであるが, 雰囲気ガス圧が $P_{Ar} = 8 \times 10^{-2} \text{ Pa}$ 程度では, 大部分のコーティング粒子は直進している。

- (2) 長管の場合, コーティング粒子のまわり込み量は次の実験式で表わせる。

$$N/N_0 = k \exp(-X/\lambda)$$

ここで N : $X = X$ でのコーティング量

N_0 : $X = 0$ でのコーティング量

k : 定数

λ : 定数 (衝突散乱の平均自由行程に相当する)

Fig.13, 15から(1)式の λ を算出すると, Fig.13では $X \leq 4.5 \text{ mm}$; $\lambda = 1.1 \text{ mm}$, $X > 4.5 \text{ mm}$; $\lambda = 3.0 \text{ mm}$ となり, またFig.15では, $\lambda = 7.7 \text{ mm}$ となる。 λ を平均自由行程とすると, λ はTi粒子とArガス分子との空間での衝突平均自由行程 λ_0 と管径 ϕ との相互関係で決まると考えてよく, しかも, その物理的意味から両者のうち, 値の小さい方で代表させることができるであろう。

$$\text{すなわち } \lambda_0 \geq \phi \text{ のとき } \lambda \simeq \phi \quad (2)$$

$$\lambda_0 < \phi \text{ " } \lambda \simeq \lambda_0 \quad (3)$$

となる。

λ_0 の値は混合気体が完全に熱的平衡状態にある場合には, 気体分子運動論から比較的容易に算出することができるが,¹²⁾ 本実験のように熱的平衡にない場合(スパッタされたチタン粒子は数eVのエネルギーをもっている)¹³⁾には, 簡単に算出することはできない。しかし一般に粒子のエネルギーが高くなると平均自由行程が長くなる¹²⁾ことが知られているので, ここではTi粒子とArガス分子とが完全熱的平衡状態にあるものとして λ_0^* を算出し, $\lambda_0 \geq \lambda_0^*$ として以下の考察を行う。

Ti粒子とArガスとの混合気体が完全熱的平衡状態にあるものとして気体分子運動論により本実験条件を用いてTi粒子の平均自由行程を計算すると, $\lambda_0^* \simeq 9.0 \text{ mm}$ と概算される。したがって前述のように $\lambda_0 \geq 9.0 \text{ mm}$ となることを考慮に入れてFig.13, 15の結果を検討してみると, Fig.13については(2)式より $\lambda \simeq \phi$, Fig.15については(3)式より $\lambda \simeq \lambda_0 \geq \lambda_0^*$ となるであろう。それぞれの図中に示した λ の値はほぼ, これを満足している。なおFig.13で $X \leq 4.5 \text{ mm}$ の領域で $\lambda = 1.1 \text{ mm}$ となるのは前面に設けた邪魔板の影響により見掛上の管径(ϕ)が小さくなったからであると思われる。

4. ま と め

(1) JT-60第1壁ライナおよびRFランチャー配位を模擬した装置へのマグネトロンスパッタ方式により蒸発させたコーティング粒子のまわり込み現象を観察した。

まわり込み現象はコーティング粒子と空間に存在するガス分子との衝突散乱によるものであるが, 雰囲気ガス圧が $P_{Ar} = 8 \times 10^{-2} \text{ Pa}$ 程度では, 大部分のコーティング粒子は直進している。

(2) 長管の場合, コーティング粒子のまわり込み量は次の実験式で表わせる。

$$N/N_0 = k \exp(-X/\lambda)$$

ここで N : $X = X$ でのコーティング量

N_0 : $X = 0$ でのコーティング量

k : 定数

λ : 定数 (衝突散乱の平均自由行程に相当する)

謝 辞

本研究を行なうにあたり、コーティング用模型の設計検討で大型トカマク開発部 JT-60 第 1 開発室・清水正亜副主任研究員、同第 3 開発室・志甫諒氏、核融合研究部加熱工学第 2 研究室・今井剛氏および JT-60 第 1 開発室の各位から有益な御討論を載いた、感謝致します。核融合研究部・炉心工学研究室・村上義夫室長、大型トカマク開発部・苫米地頭部長、同吉川允二次長、JT-60 第 1 開発室・飯島勉室長、同太田充室長代理には終始有益な御指導を載いた、深く感謝致します。また実験の一部に御協力載いた日電アネルバ(株)の関係者各位に深く感謝致します。

参 考 文 献

- 1) 横倉賢二, 他; 真空; 24, No.4 (1981) 173-177
- 2) P.Staib, H.F.Dylla and S.M.Rosnagel ; J. Nucl. Mater., 93 & 94 (1980) 315-321
- 3) R.A.Langley and T.S.Preveder ; Thin Solid Films, 45 (1977) 235-245
- 4) A.W.Mullendore, J.B.Whitley and D.M.Mattox ; J. Nucl. Mater., 93 & 94 (1980) 486-492
- 5) M. Ulrickson and J.Cecchi ; Thin Solid Films, 73 (1980) 133-138
- 6) たとえば
G.M.McCracken and P.E.Stott ; Nuclear Fusion, 19, No.7 (1979) 889-981
- 7) G.J.Kominiak and J.E.Uhl ; J. Vac. Sci. Technol., 13, No.1 (1976) 170-174
- 8) G.J.Kominiak and J.E.Uhl ; J. Vac. Sci. Technol., 13, No.6 (1976) 1193-1194
- 9) H.F.Helbig et al. ; J. Vac. Sci. Technol., 13, No.1 (1976) 379-383
- 10) A.C.Miller and A.W.Czanderna ; J. Vac. Sci. Technol., 12, No.5 (1975) 1086-1087
- 11) T.Tazima ; J. Nucl. Mater., 76, Nos.1-2 (1978) 594-599
- 12) 熊谷寛夫・富永五郎 “真空の物理と応用” (1974) 裳華房
- 13) H.Oechsner ; Appl. Phys., 8 (1975) 185-198

謝 辞

本研究を行なうにあたり、コーティング用模型の設計検討で大型トカマク開発部JT-60第1開発室・清水正亜副主任研究員、同第3開発室・志甫諒氏、核融合研究部加熱工学第2研究室・今井剛氏およびJT-60第1開発室の各位から有益な御討論を載いた、感謝致します。核融合研究部・炉心工学研究室・村上義夫室長、大型トカマク開発部・苫米地頭部長、同吉川允二次長、JT-60第1開発室・飯島勉室長、同太田充室長代理には終始有益な御指導を載いた、深く感謝致します。また実験の一部に御協力載いた日電アネルバ(株)の関係者各位に深く感謝致します。

参 考 文 献

- 1) 横倉賢二, 他; 真空; 24, No.4 (1981) 173-177
- 2) P.Staib, H.F.Dylla and S.M.Rosnagel ; J. Nucl. Mater., 93 & 94 (1980) 315-321
- 3) R.A.Langley and T.S.Preveder ; Thin Solid Films, 45 (1977) 235-245
- 4) A.W.Mullendore, J.B.Whitley and D.M.Mattox ; J. Nucl. Mater., 93 & 94 (1980) 486-492
- 5) M. Ulrickson and J.Cecchi ; Thin Solid Films, 73 (1980) 133-138
- 6) たとえば
G.M.Mccracken and P.E.Stott ; Nuclear Fusion, 19, No.7 (1979) 889-981
- 7) G.J.Kominiak and J.E.Uhl ; J. Vac. Sci. Technol., 13, No.1 (1976) 170-174
- 8) G.J.Kominiak and J.E.Uhl ; J. Vac. Sci. Technol., 13, No.6 (1976) 1193-1194
- 9) H.F.Helbig et al. ; J. Vac. Sci. Technol., 13, No.1 (1976) 379-383
- 10) A.C.Miller and A.W.Czanderna ; J. Vac. Sci. Technol., 12, No.5 (1975) 1086-1087
- 11) T.Tazima ; J. Nucl. Mater., 76, Nos.1-2 (1978) 594-599
- 12) 熊谷寛夫・富永五郎 “真空の物理と応用” (1974) 裳華房
- 13) H.Oechsner ; Appl. Phys., 8 (1975) 185-198

Set-up of Coaxial Cylindrical Magnetron Sputtering

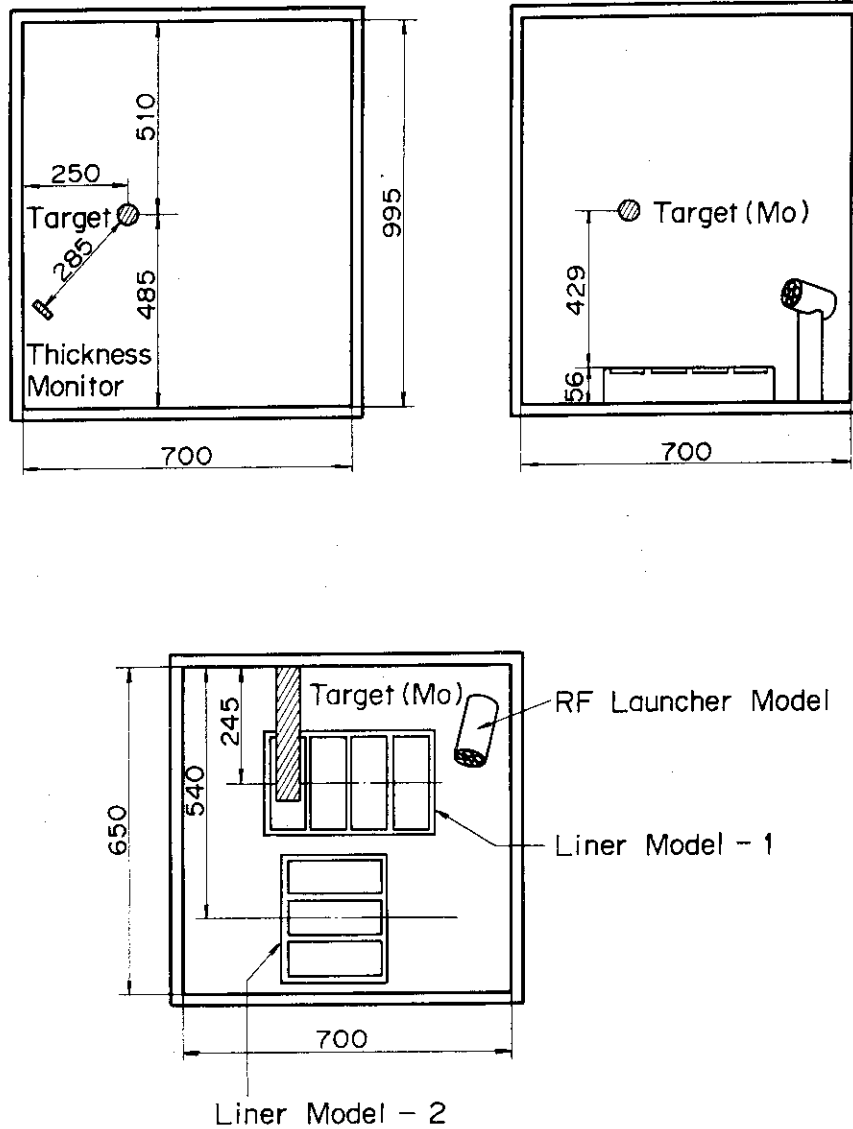


Fig.1 Experimental set-up for in-situ coating of JT-60 liner and RF launcher models which were made of Pyrex glass.

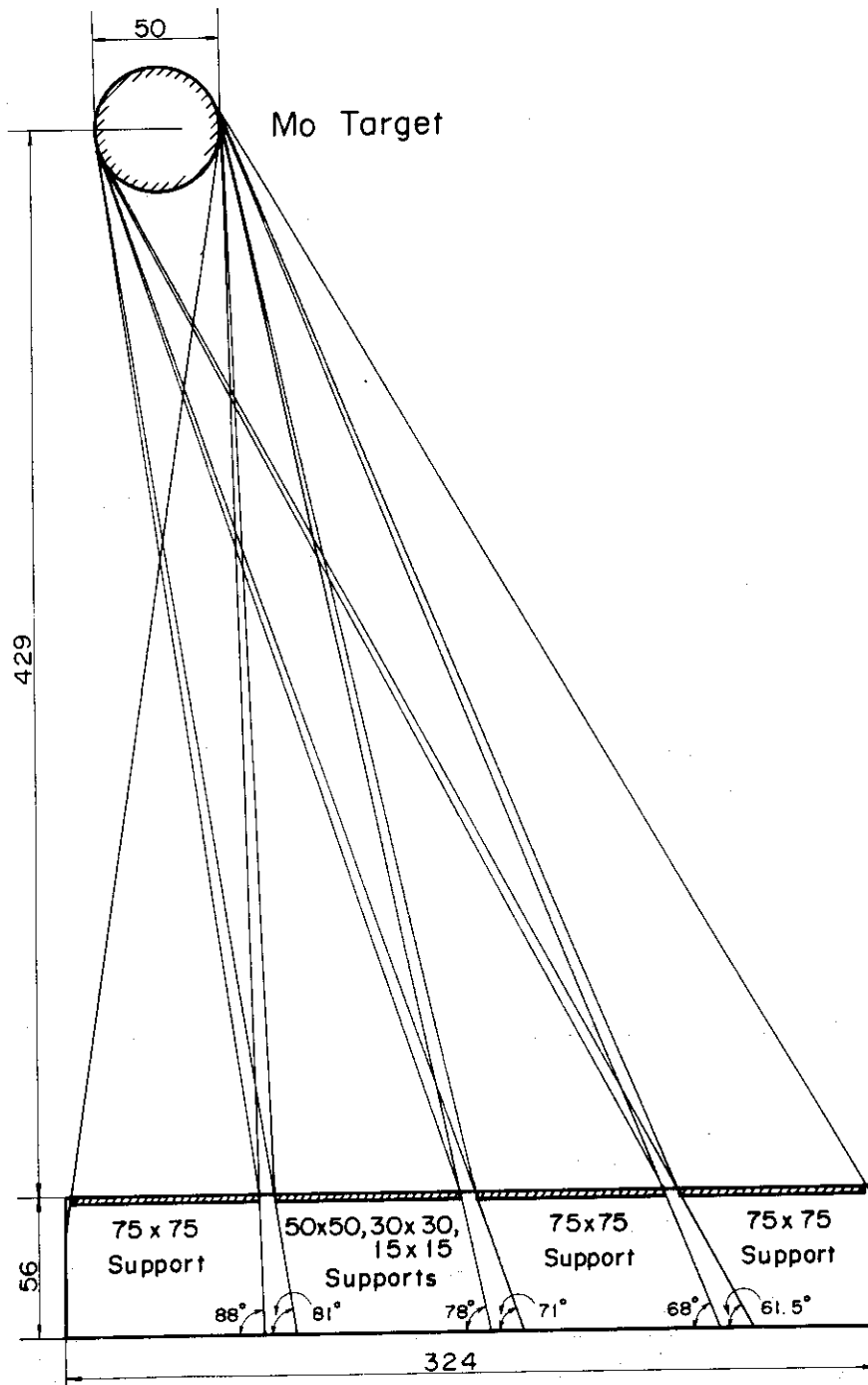


Fig.2 Geometrical arrangement of molybdenum target to JT-60 liner model.

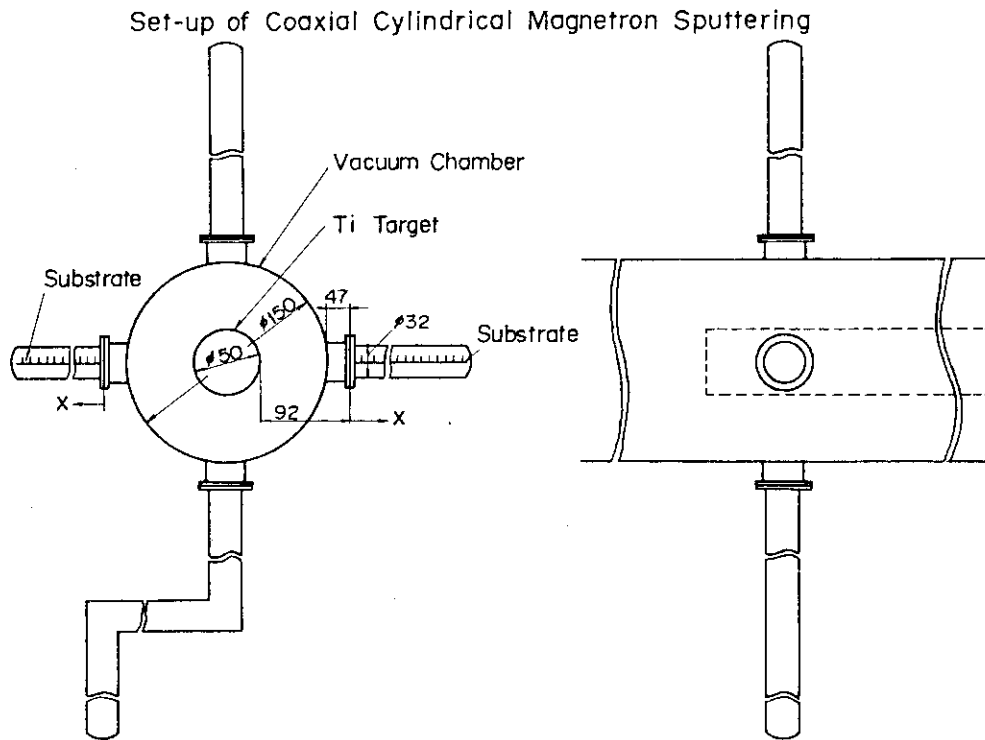


Fig.3 Experimental set-up for quantitative measurement of scattered particles. The diameter of the vacuum chamber is 150 mm .

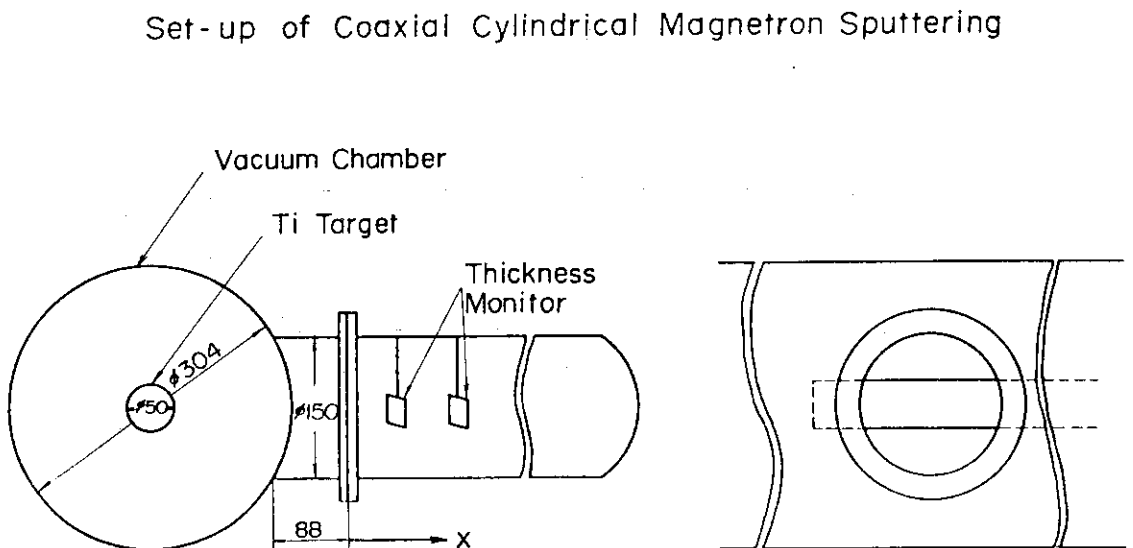


Fig.4 Experimental set-up for quantitative measurement of scattered particles. The diameter of the vacuum chamber is 304 mm .

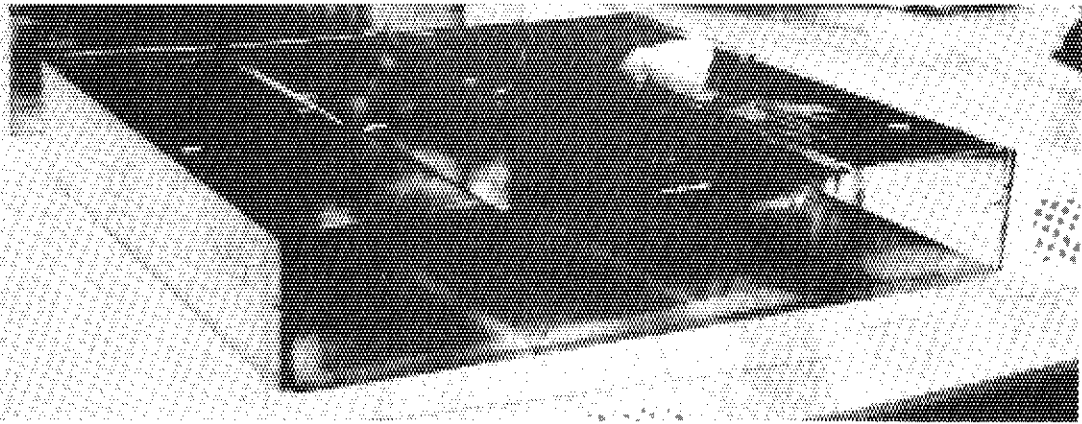


Fig.5 Photograph of JT-60 liner model after in-situ coating by coaxial cylindrical magnetron sputtering method. Mo particles deposited at a shade area in the photograph.

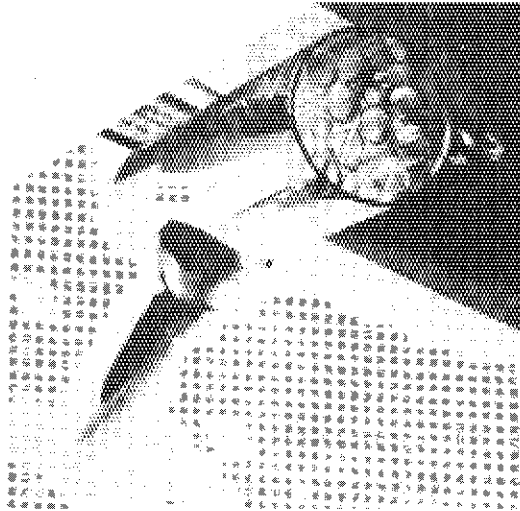


Fig.6 Photograph of RF launcher model after in-situ coating by coaxial cylindrical magnetron sputtering method. Mo particles deposited at a shade area in the photograph.

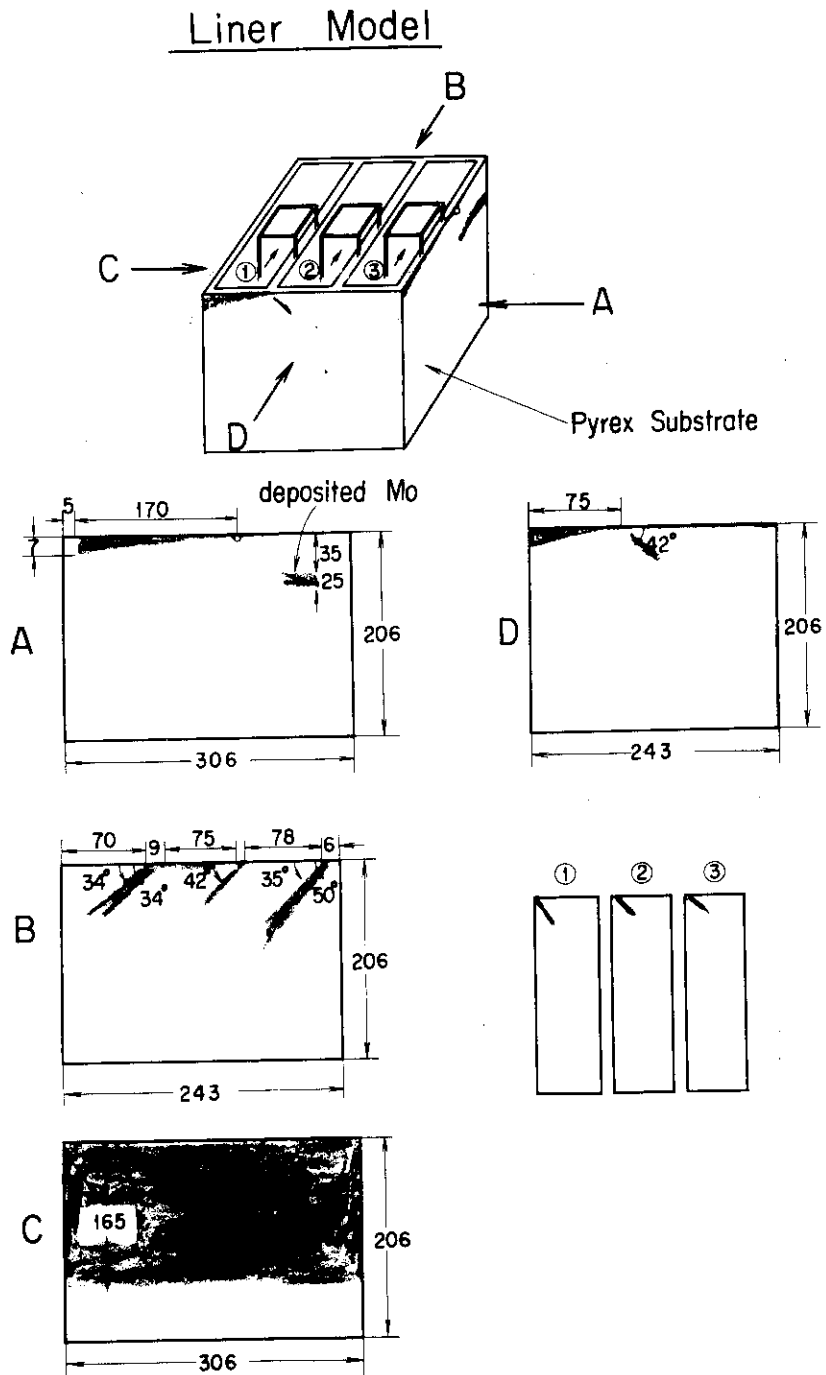


Fig.8 Sketch-map of liner model. Mo particles deposited at a shade area. Unit ; mm

Liner Model

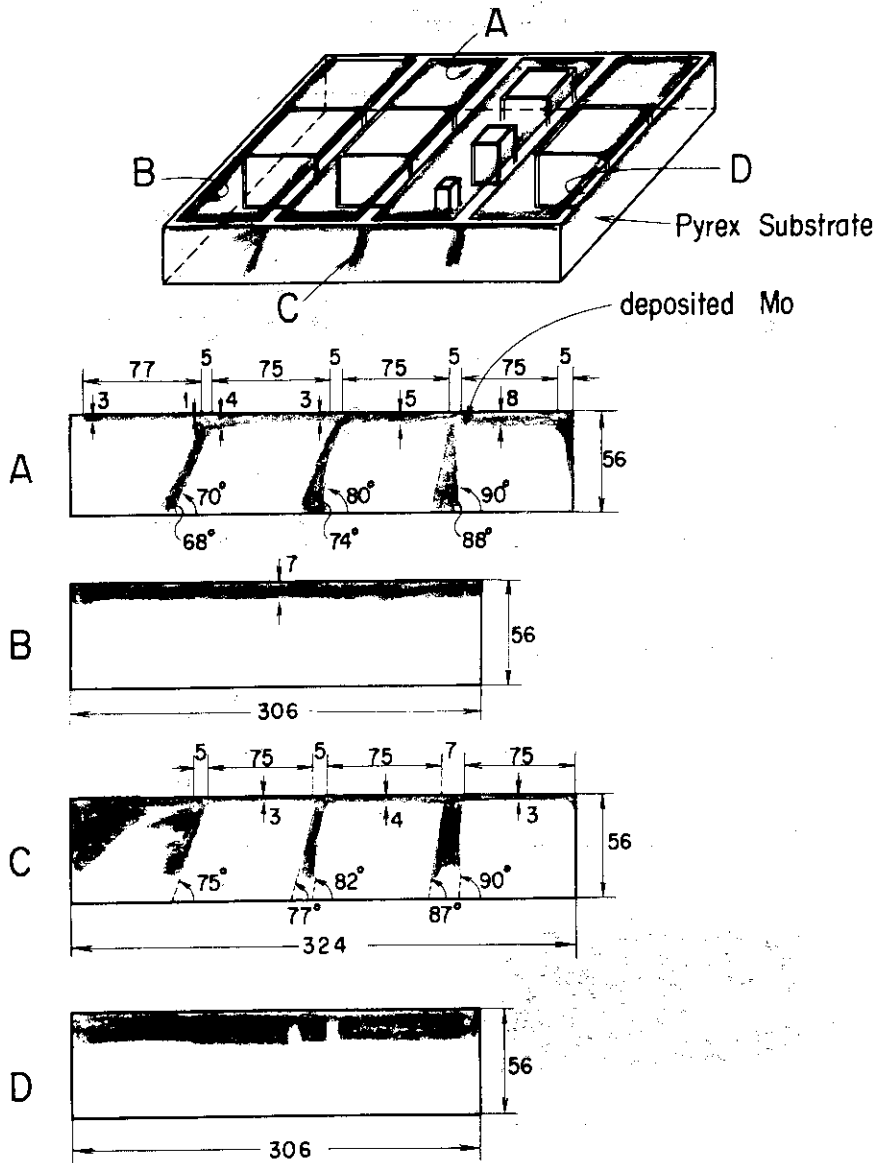


Fig.9 Sketch-map of liner model. Mo particles deposited at a shade area. Unit ; mm

Liner Model

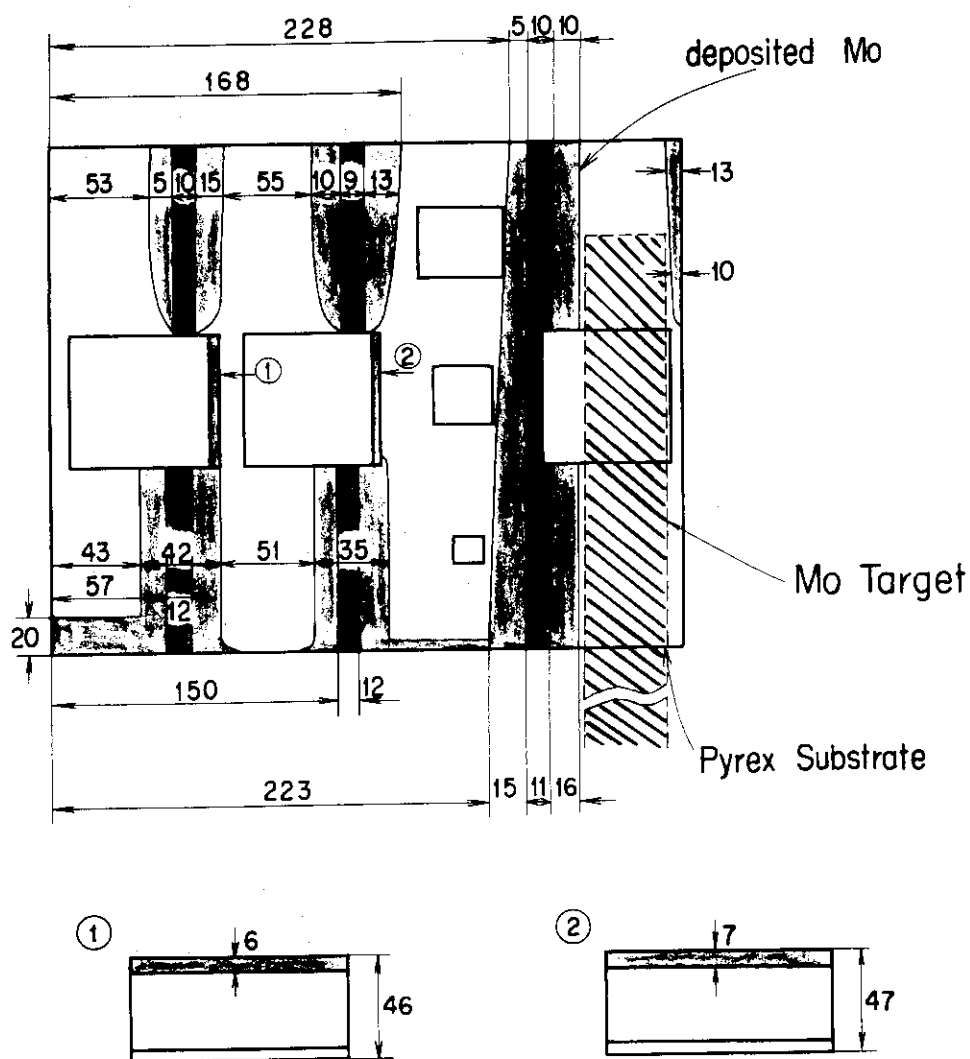


Fig.10 Plane view of Fig.9 liner model. The more dense shade, the more thick of deposited Mo film thickness.

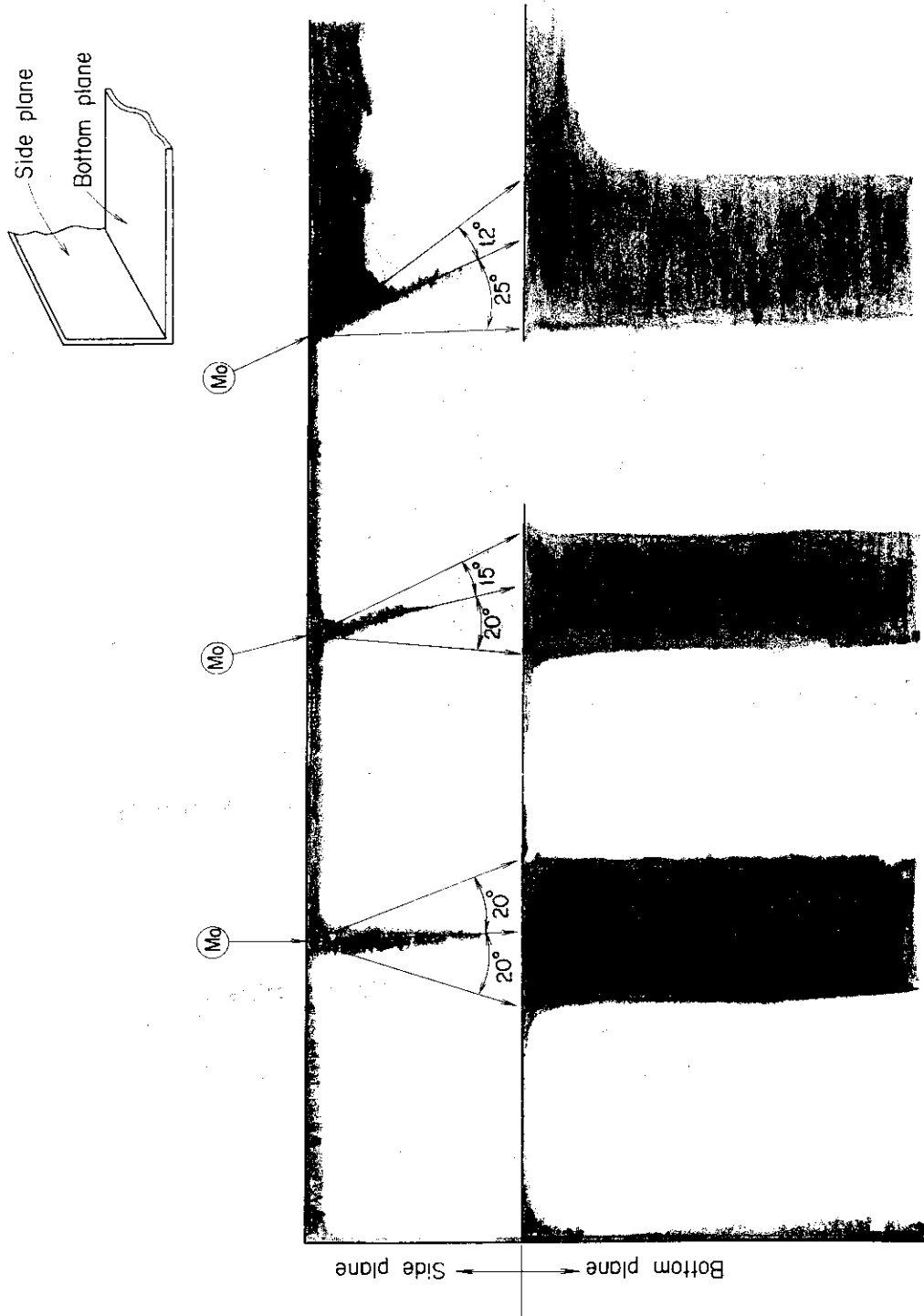


Fig.11 Enlarged picture of side wall C in Fig.9 .

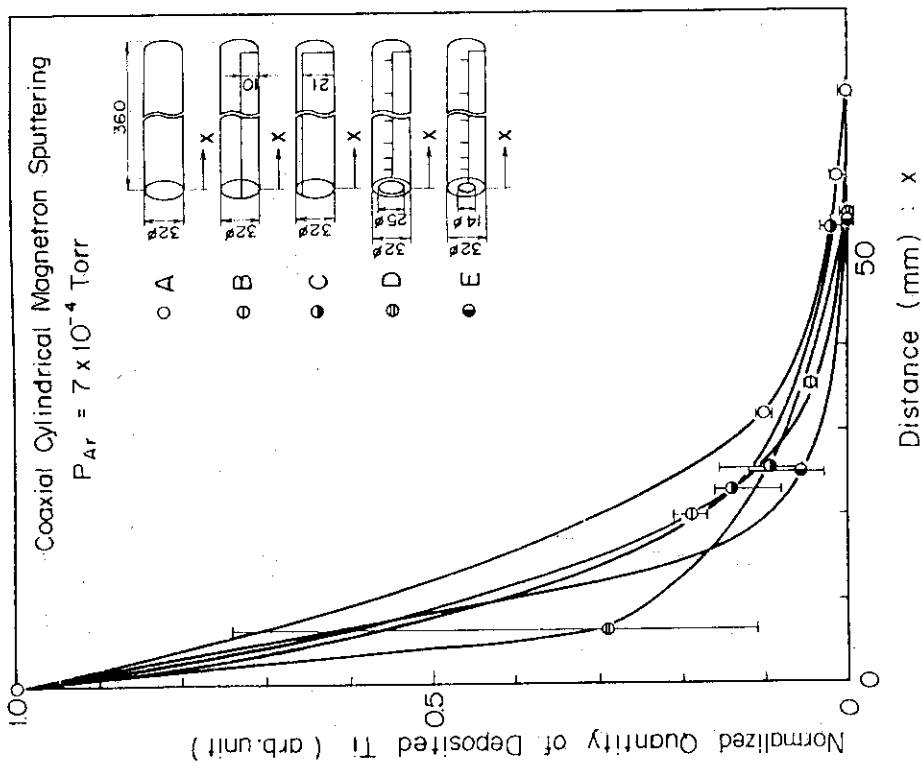


Fig.12 Normalized quantity of deposited Ti for various shaped shield as a function of the distance from the shield. Ti evaporation was performed by coaxial cylindrical magnetron sputtering method under the arrangement of Fig.3.

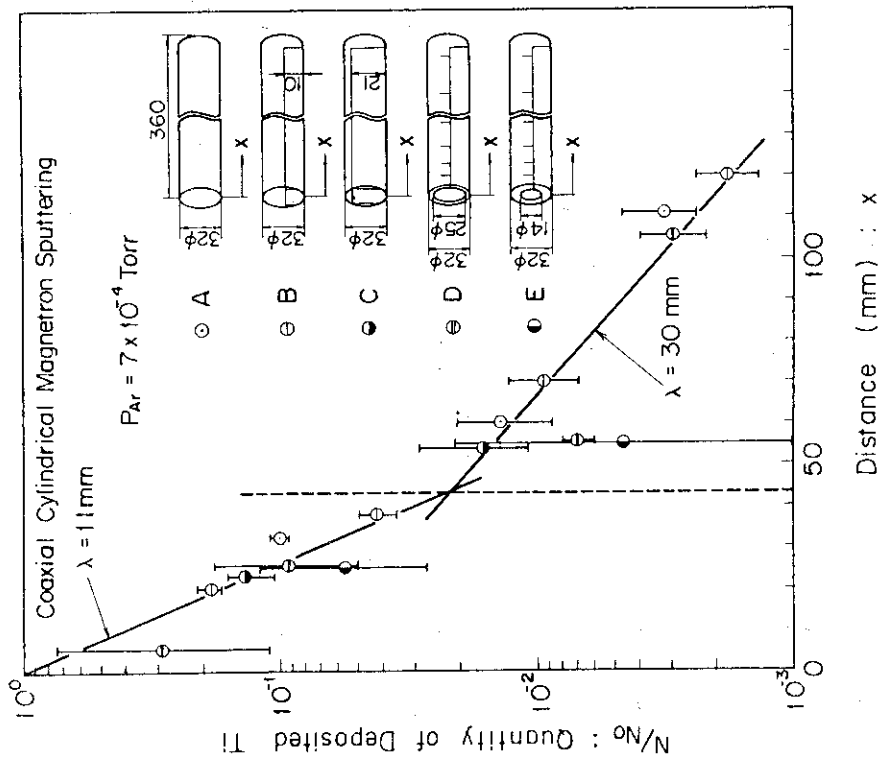


Fig.13 Semi-logarithmic rearrangement plots of Fig.12.

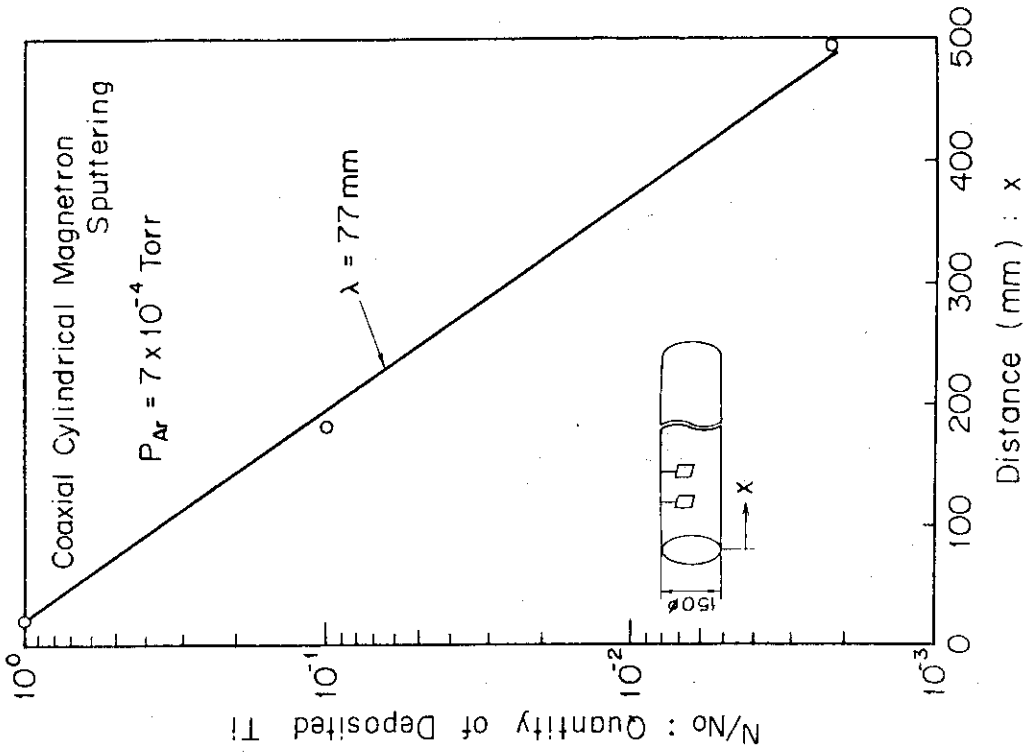


Fig.15 Semi-logarithmic rearrangement plots of Fig.14.

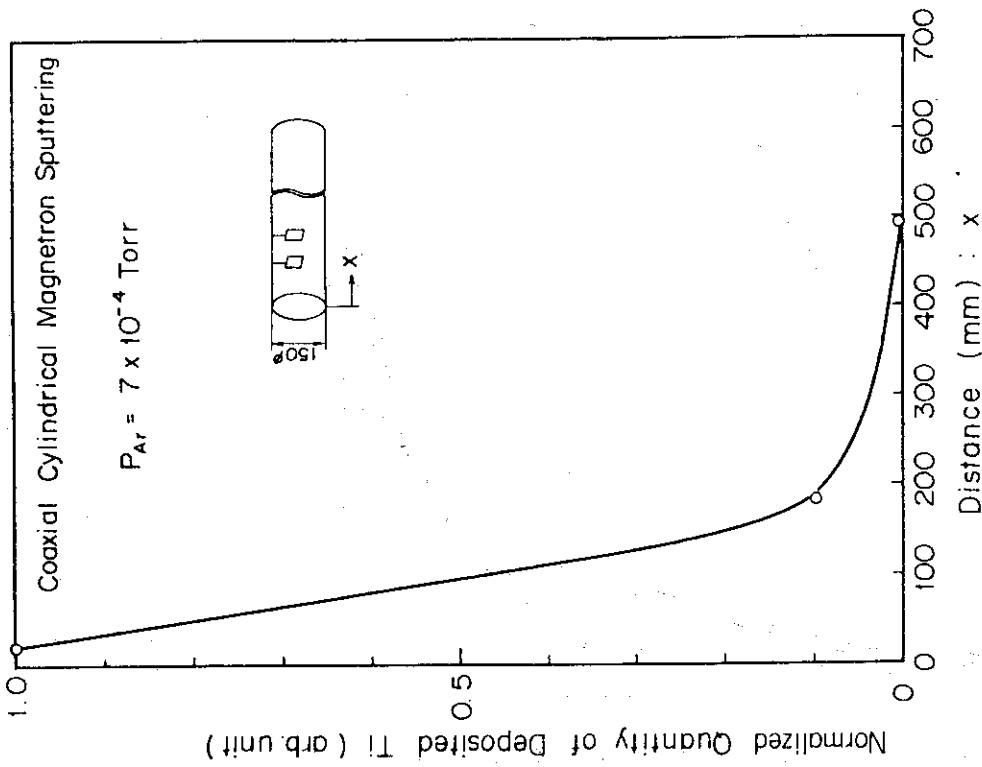


Fig.14 Normalized quantity of deposited Ti as a function of the distance from the inlet. Ti evaporation was performed by coaxial cylindrical magnetron sputtering method under the arrangement of Fig.4.