

JAERI-M
7216

モリブデン蜂の巣構造壁のスパッタ
リング収率測定と表面観察

1977年8月

小原建治郎・阿部 哲也・中村 博雄

この報告書は、日本原子力研究所が JAERI-M レポートとして、不定期に刊行している研究報告書です。入手、複製などのお問い合わせは、日本原子力研究所技術情報部（茨城県那珂郡東海村）あて、お申しこしてください。

JAERI-M reports, issued irregularly, describe the results of research works carried out in JAERI. Inquiries about the availability of reports and their reproduction should be addressed to Division of Technical Information, Japan Atomic Energy Research Institute, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken, Japan.

モリブデン蜂の巣構造壁のスパッタリング収率測定と表面観察

日本原子力研究所東海研究所核融合研究部

小原 建治郎・阿部 哲也・中村 博雄⁺

(1977年7月21日受理)

モリブデンによる蜂の巣構造壁の実効的スパッタリング収率を重量測定法により求めた。平板と蜂の巣構造壁の試料は直流2極スパッタリング装置により、アルゴングロー放電中で同時に照射された。入射粒子のエネルギー範囲は500~1000eV、入射角度はほぼ垂直であった。

実験は蜂の巣構造の深さ(L)と幅あるいは直径(D)の比、 L/D をパラメータとし、照射後の平板および蜂の巣構造壁試料の重量減少の比を求めた。それによると、角孔蜂の巣構造の場合、 L/D が1以上においては平板に比べ、実効的スパッタリング収率が $1/20 \sim 1/30$ と減少した。

また、照射前後において蜂の巣構造壁の試料表面を走査型電子顕微鏡により観察したが、それによると蜂の巣構造の側壁が、スパッタ粒子を捕捉していることがわかった。

+) 日本原子力研究所東海研究所大型トカマク開発部

Sputtering Yield and Surface Observation
of Molybdenum Honeycomb Walls

Kenziro OBARA, Tetsuya ABE and Hiroo NAKAMURA⁺

Division of Thermonuclear Fusion Research,
Tokai Research Establishment, JAERI

(Received July 21, 1977)

The effective sputtering yield of molybdenum honeycomb walls has been studied by weight loss measurement. Honeycomb targets were bombarded with argon ions of energy from 500 to 1000eV in d.c. diode sputtering apparatus. The incident angles of primary ions were the vicinity the normal.

The sputtering yield ratio of a honeycomb target with rectangular cells to a flat target decreases rapidly with increasing depth-to-width ratio (L/D), attaining an asymptotic value of 1/20 - 1/30 when L/D=1 or larger.

Before and after bombardment, surface of the targets was observed by scanning electron microscope. There exist many deposits on side wall of the honeycomb target produced during bombardment, indicating that the side wall acted as a particle catcher.

Keywords: Honeycomb Wall, Molybdenum, Sputtering Yield, Ion Bombardment, D.C. Diode Sputtering Apparatus, 500 ~ 1000eV, Rectangular Cell, Incident Angle, Depth-to-Width Ratio, Surface Observation

⁺ Division of Large Tokamak Development, Tokai Research Establishment,
JAERI

目 次

1. 序 論	1
2. 実験方法	2
2.1 実験用試料	2
2.2 実験装置の概略と実験手順	2
2.3 スパッタリング収率の測定方法	3
2.4 走査型電子顕微鏡による照射前後の試料の観察	3
3. 実験結果と検討	7
4. 結 論	33
謝 辞	33
参考文献	33

1 序 論

プラズマ閉じ込め装置において、高温プラズマを作り出すためにはプラズマ中へ混入した不純物による放射損失を出来るだけ軽減する必要がある。¹⁾ 不純物の発生源としてはいくつか考えられるが、その主なものとしては第一壁(first wall)があげられる。第一壁からの不純物としては、壁に吸着されているガス分子の脱離や第一壁構成材料そのものがある。第一壁構成材が不純物として放出される主な機構としては、スパッタリング、プリスタリング、蒸発などが考えられる。

放射損失低減対策の方法としては、①磁気リミターによるシールド、②スパッタリング収率の低い材質による第一壁、③低原子番号材料による第一壁^{2, 3)}の構成等が考えられている。そのうち、スパッタリング収率を軽減させる方法として、第一壁をいわゆる蜂の巣構造(honeycomb surface structure, 以下ハニカム構造とする)にして実効的にスパッタリング収率を低下させるという案がある。これについてCramerらは円筒形ハニカム構造について、モンテカルロ法によりハニカム効果や中性粒子のre-flux量を検討している。^{4, 5)} また吉川は角形ハニカム構造について、ハニカム効果を解析的に検討している。⁶⁾ さらに中村らによるハニカム構造の熱伝達に関する理論解析の結果では、ハニカム構造の形状に制限のあることが報告されている。⁷⁾ しかしながら、今のところハニカム構造壁を実際に製作し、スパッタリング収率を測定したという報告は見当たらない。

本実験では、臨界プラズマ試験装置, JT-60^{8, 9)}の第一壁構成材料として考えられているモリブデンで実際にハニカム構造の試料を製作し、グロー放電中でのスパッタリング収率を測定した。実験に用いた試料は丸孔1種、角孔4種、溝型についてはタイプ1、タイプ2の2種、計7種である。実験結果では、ハニカム構造とすることにより、実効的スパッタリング収率の低下、すなわちハニカム効果が認められたので以下に報告する。

2 実験方法

2.1 実験用試料

実験に用いたハニカム試料の形状を図 2.1 に示す。材質はモリブデン (PLANSEE Co. 製、独) である。ハニカム試料は形状で 4、種類にして 7 種類製作した。形状の決定、製作方法については中村による報告¹⁰⁾があるので、ここではその詳細についてはふれない。

1 は丸孔でボール盤によるドリル加工である。2 は角孔で、これは放電加工により製作された。角孔は製作費用、加工速度の点から丸孔に比べ劣っているが、ハニカム孔占有率 (平面上のハニカム試料面積に対するハニカム孔の占める割合) が丸孔にくらべ大きいため、それだけにハニカム効果が期待できるとして採用された。ミゾ型タイプ 1、タイプ 2 の製作方法は総形カッタによるフライス加工である。

次にハニカム構造の考えられる適用範囲 (例えば JT-60 について) と今回用いた試料について系統的に示す。

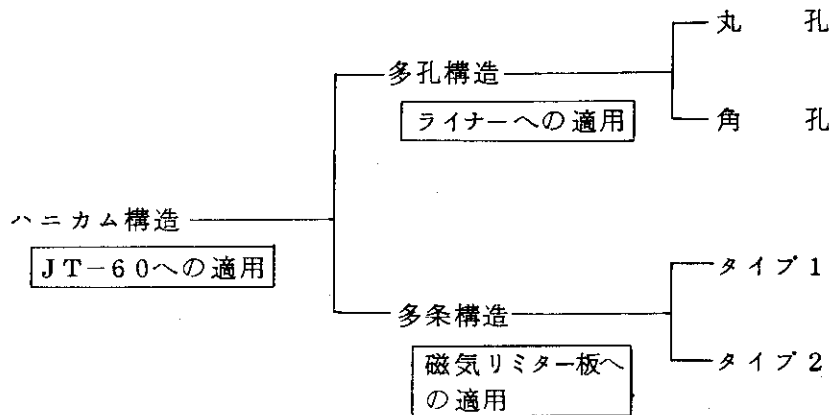


表 2.1 に実験に用いた試料の形状、寸法についてその概略を示す。ここで L はハニカムの高さ、D は直径あるいは辺の長さである (図 2.1 参照)。

試料処理については、まず照射前に 9 N の硝酸による酸洗を行ない、蒸留水による洗浄、つづいて超音波洗浄を行なった。そして十分に乾燥させた後、デシケータに保管した。照射終了後も同様にデシケータ中に保管した。

2.2 実験装置の概略と実験手順

図 2.2 に実験装置 (直流 2 極スパッタリング装置, EDR-287, 日本真空技術 (株) 製) の概略図を示す。外径 4.6 cm のベルジャー中央に設けられた直径 6 cm の陰極上 (銅製) にハニカム試料を設定した後、ロータリポンプ、ソーブションポンプで粗引きを行ない、次にイオン

ポンプにて到達圧力 $\approx 1 \times 10^{-5}$ Torrまで排気した。この後ゲート弁を閉じ、イオンポンプを停止した後、 150 kg/cm^2 加圧のガスボンベから減圧弁、可変リーク弁を通してアルゴンを導入し、ピラニ真空計の指示をみながら 0.03 Torr で一定になるよう流量を調整した。

図2.3に陰極上のハニカム試料の設定図を示す。陰極上、中央から左側に平板、右側にハニカム試料を置いた。平板の高さとハニカム試料の高さを同一面上になるよう調整し、周囲には極板からのスパッタ粒子が試料表面上に沈積するのを防ぐため、試料ハニカムとは別のハニカムで図のように防壁(バリアー)を設けた。

こうしてベンジャー内の圧力がほぼ一定になったところで、両極間(約4 cm)に除々に電圧を3 kVまで印加し、アルゴングロー放電を持続した。放電の様子はベンジャー中央側壁に設けられてある覗き窓から常時観察でき、スパッタリング、放電状態が一定となるようベンジャー内部のアルゴン圧と印加電圧を調整した。しかし、一旦放電が安定してしまふと大巾なズレはなく、比較的制御しやすい状態となった。電流値は平均9 mAを示していた。表2.2に実験条件を、図2.4に測定中の様子を示す。

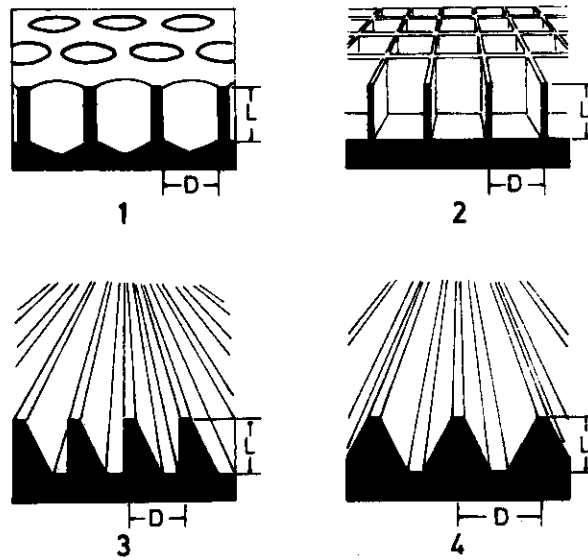
スパッタリング中のアルゴンエネルギーについては、実験に先立って行なったエネルギー分析の結果、上述の放電条件下においては、500および1000 eV近辺に比較的小さいピークを持っていた。

2.3 スパッタリング収率の測定方法

各ハニカム試料のスパッタリング収率の測定は、実験前後の平板ならびにハニカム試料の重量測定によって行なった。測定には直示天びん(読み取り限度 0.01 mg , L-SM, 島津製作所)を用いた。従ってスパッタリング時間は、最低直示天びんで測定しうる範囲での重量変化があらわれるまで行なり必要があり、実験計画との関係からも2時間とした。結果としては測定前後における有意差がはっきりと認められた。

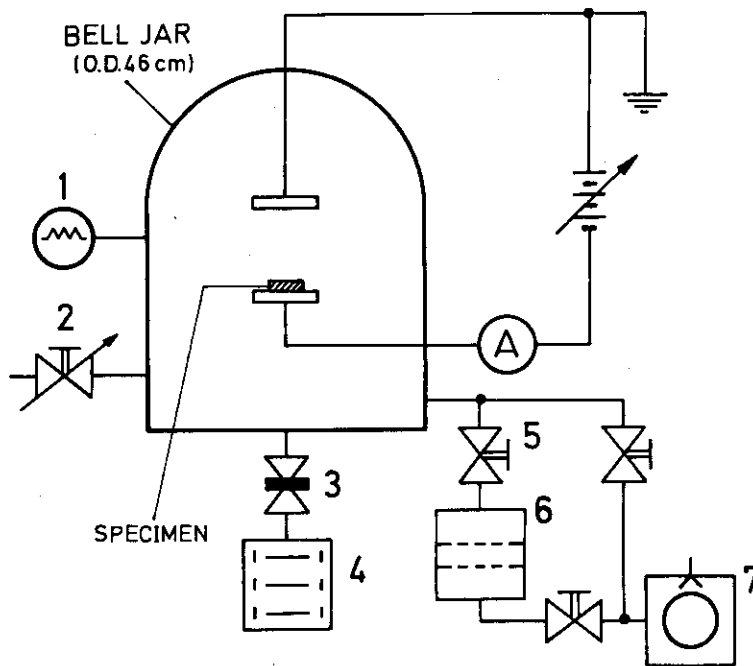
2.4 走査型電子顕微鏡による照射前後の試料の観察

平板および各ハニカム試料について走査型原子顕微鏡(S-310, 日立製作所)を用いて表面観察を行なった。



- | | | |
|-------|---|-------------|
| 1 : 丸 | 孔 | 3 : 溝型タイプ 1 |
| 2 : 角 | 孔 | 4 : 溝型タイプ 2 |

図 2.1 ハニカム構造試料概略図



- | | |
|-----------------|---------------|
| 1 : ピラニー真空計 | 5 : 手 動 弁 |
| 2 : 可変リーク弁 | 6 : ソープションポンプ |
| 3 : ゲート弁 | 7 : 油回転ポンプ |
| 4 : スパッターイオンポンプ | |

図 2.2 実験装置概理図 (真空機器のシンボルは ISO による)

表 2.1 各種ハニカム構造試料の形状寸法

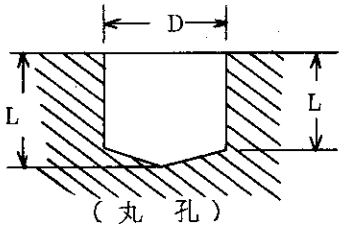
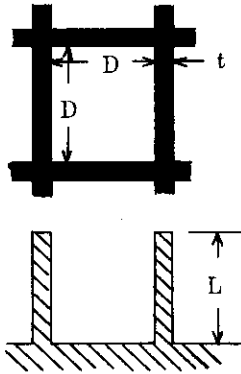
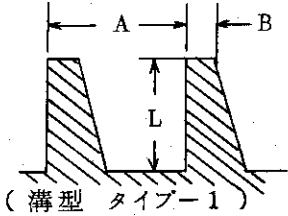
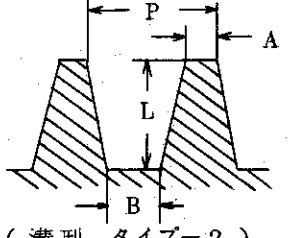
ハニカム構造	寸法(平均値) 単位 mm			
 (丸孔)	L	ϕD	L'	
	3.21	3.04	4.21	
 (角孔)	L	D	t	(L/D)
	0.94	3.04	0.38	1/3
	1.95	3.07	0.35	2/3
	2.90	3.05	0.36	3/3
	4.03	3.08	0.33	4/3
 (溝型 タイプ-1)	L	A	B	
	3.08	3.01	0.53	
 (溝型 タイプ-2)	L	A	B	P
	3.04	0.35	1.04	2.99

表 2.2 実験条件

アルゴンガス圧力	3×10^{-2} Torr
電極間距離	4 cm
直流印加電圧	3 kV
イオン電流	9mA/ $\phi 60$ mm
スパッタリング時間	2 時間

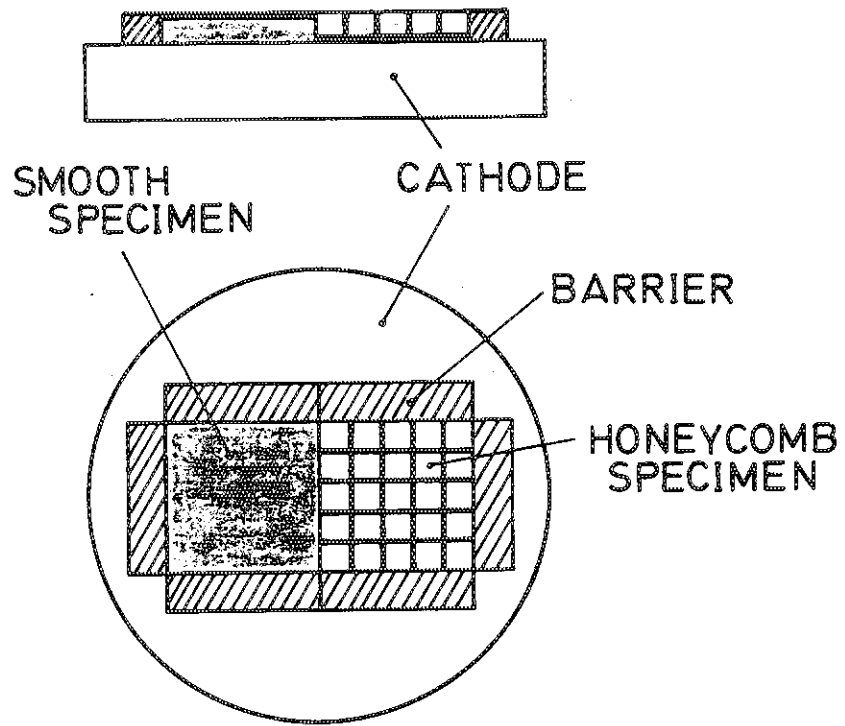


図 2.3 ハニカム構造試料設定図

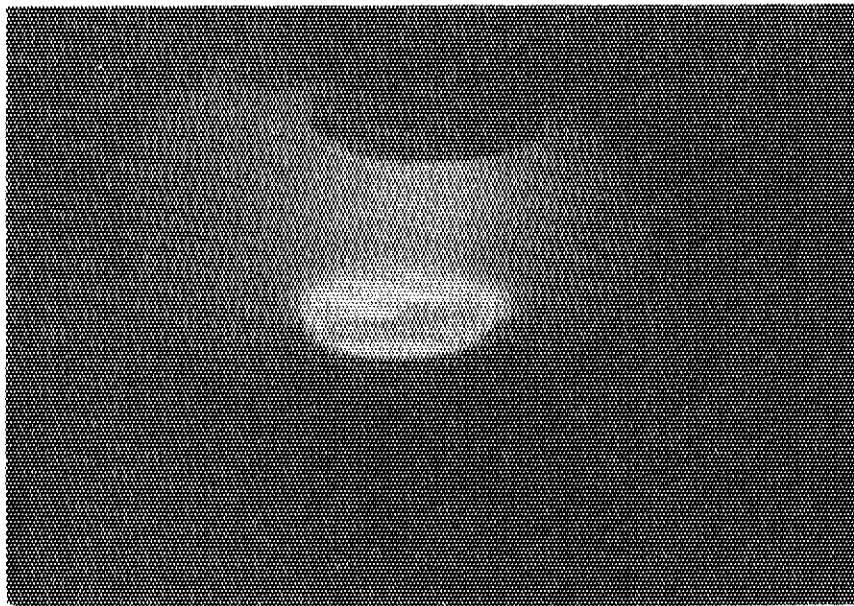


図 2.4 グロー放電によるスパッタリング実験中のハニカム試料
 左側が平板，右側が角孔ハニカム ($L/D = 3/3$) 試料である

3 実験結果と検討

平板とハニカム試料における実効的スパッタリング収率の比較については、相対的な値を求めるといふ観点から次式のように定義した。

$$\frac{S_h}{S_s} = \frac{W'_h - W''_h}{W'_s - W''_s}$$

W'_s : 平板試料のスパッタリング前における重量

W''_s : 平板試料のスパッタリング後における重量

W'_h : ハニカム試料のスパッタリング前における重量

W''_h : ハニカム試料のスパッタリング後における重量

図 3.1 に角孔ハニカムによる実験結果を示す。縦軸に S_h/S_s を、横軸に L/D をとってある。測定は $L/D=4/3$ を除いては各 L/D について 2 点ずつ行なった。

今回の実験結果から、第一にいえるとは、 L/D の増加に伴いスパッタ比がきわめて急激に減少してくるといふことである。これは $L/D=0$ 、すなわち平板に比べ、 L/D が 1 より大きい部分では $1/20 \sim 1/30$ と減少する。この傾向は Gramer らのモンテカルロシミュレーションによる計算 (円筒形ハニカム構造についてのものであり、各種の因子、たとえば入射粒子の角度分布、および反射角度分布とその確率、さらにスパッタ粒子の放出角度分布 (等方向および余弦分布について計算) などが考慮されている) のうち、入射粒子がハニカム壁に垂直に衝撃するとしたときの条件による計算結果に良く対応する。

スパッタ粒子の放出角度分布については、余弦分布説¹¹⁾ や、入射粒子のもつエネルギーが低い (数 keV 以下) 場合、鏡面反射に似た放出角度分布をもつとする Gurmin^{11, 12)} らの実験結果が報告されている。後者の場合、ハニカム側壁からのスパッタ粒子はその大部分が底面に向かい、そこで捕捉されることになりハニカム構造の実効的スパッタリング収率を低下させることになる。

図 3.2 に各種ハニカム構造の $L/D=3/3$ の試料についてのスパッタ比について示す。角孔についてはこの図上には示していないが、先の図 3.1 における $L/D=3/3$ と比較すると、角孔の場合は $S_h/S_s=0.04 \sim 0.08$ 程度であるから他の構造のものに比べ 1 ケタ低いことになる。これは多孔構造は多糸構造に比べハニカム孔占有率が高く、さらには多糸構造のように二方が開いていないことから、多孔構造の方がハニカム効果が大きいと考えられ、事実、実験結果にもその傾向が良くあらわれている。また角孔が丸孔に比べ、ミゾ型タイプ-1 がタイプ-2 に比べハニカム効果が大きいのは、やはりこの占有率に大きく依存している結果といえよう。

表 3.1 に走査型電子顕微鏡によるハニカム表面の観察写真のリストを、図 3.3 ①~④に照射前後における平板および各ハニカム試料の走査型電子顕微鏡による観察像を示す。ただし角孔

についての照射前写真は $L/D=3/3$ のみである。各試料の照射量については、同一試料を数回使用したことなどから正確な値はわからないが、最低2時間の照射ということから算出すると一番照射量の少ないのもでも概算にして 1.4×10^{19} コ/cm²であるといえる。これら観察写真の中での重要な事実は、ハニカム孔の底面と側壁の境に無数の島状堆積物がみられるものとそうでないものがあるということである。これはスパッタ粒子の捕捉される程度と照射量の違いによるものと思われる。たとえばきわめて顕著に堆積物のみられる試料については、3~4回程度照射され、その照射量は $\approx 10^{20}$ コ/cm²程度となる。またハニカム(特に角孔)の頂上側面に島状堆積物がみられないこと、さらに摩耗が激しいことは、この部分が特に厳しくアルゴンイオンによるスパッタリング作用を受けていることを示している。

未照射試料には加工時のものとおもわれる層状の模様がみられるが、これら表面粗さのスパッタリング収率への影響としては、むしろマイクロハニカムにも似てスパッタリング収率の低減に効果があるものとおもわれる。マイクロハニカムについてのZiegler¹³⁾らによる実験結果では研磨された面に比べ、スパッタ比が $1/3 \sim 1/100$ に低減したという報告がなされている。

本実験の信頼性を調べるために、実験で得られたスパッタリング収率と既往の実験結果のものと比較してみた。それによると、数10回にわたる実験において、2時間スパッタリング後の平板試料の重量減は平均10.4mgであった。一方、これまでに得られているアルゴンイオンのモリブデンに対するスパッタリング収率は、アルゴンイオンエネルギー1 keVにおいて1.14¹¹⁾という値が得られている。平板サンプルの大きさが2cm×2cm、スパッタリング時間2時間として、先の電流密度9mA/60mmφから計算するとスパッタリングによるその重量減は約10.1mgとなって実験結果における重量減の値と良く一致した。

なお、JT-60にハニカム壁を適用する場合、ライナと磁気リミター板にわけて考える必要がある。ライナはプラズマからの粒子が不規則に入射すると考えられるが、磁気リミター板では磁力線が磁気リミター板に対して低い角度で交わると考えられており、温度上昇の点から形状、寸法が制限される。従って前者を考慮したものが丸孔、あるいは角孔で、後者を考慮したものが溝型である。溝型のタイプ-1は一方が直角に切り落されている。タイプ-2は台形である。これはいずれも加工上、あるいは強度的な面を考慮した結果の形である。今回の実験では、これら両者を入射粒子において区別するという事はしなかった。

また、ハニカム構造のプラズマ閉じ込め装置への適用を考えたとき、次に示すような問題点についても今後あきらかにしていく必要があると思われる。

- ① 熱的および中性粒子の衝撃による侵食と寿命の問題
- ② 平板に比べ複雑な構造となるため、その表面洗浄法の開発
- ③ 実際の製作に際し、もっとも効果的なL、およびD、さらに壁厚の実寸の決定
- ④ 比較的短時間で、精度よく製作できる加工法の検討
- ⑤ プラズマ閉じ込め装置への取り付け方法

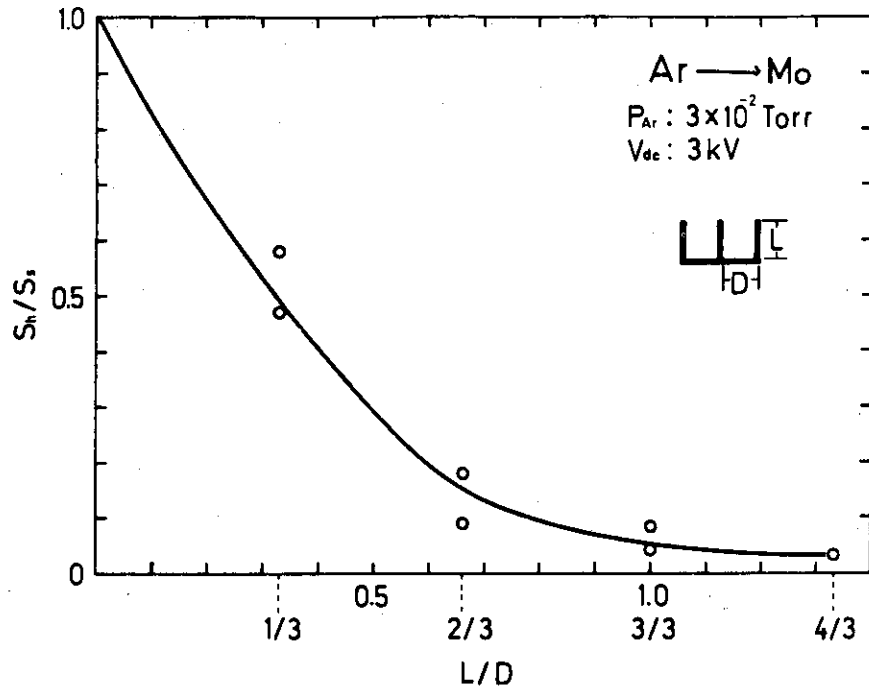
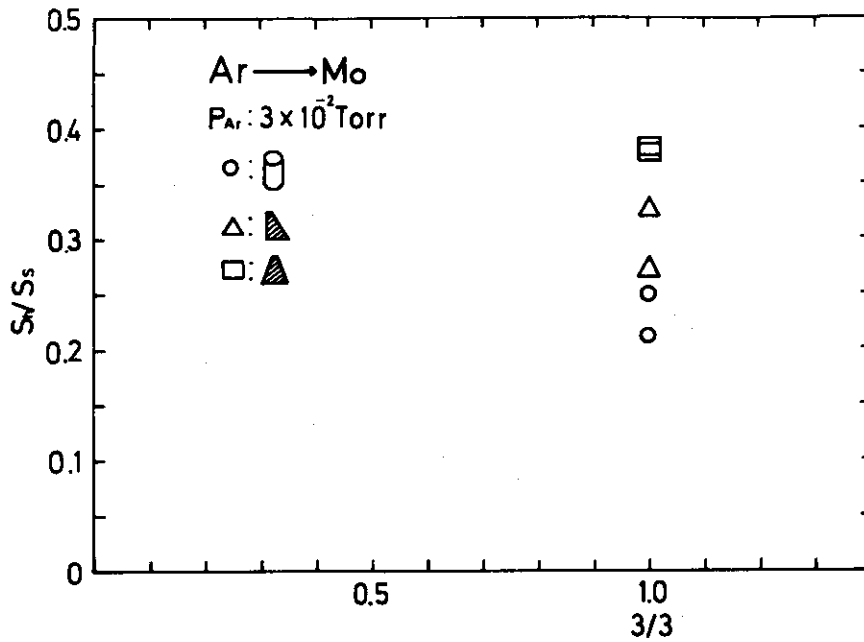


図 3.1 角孔ハニカムによるスパッタ比

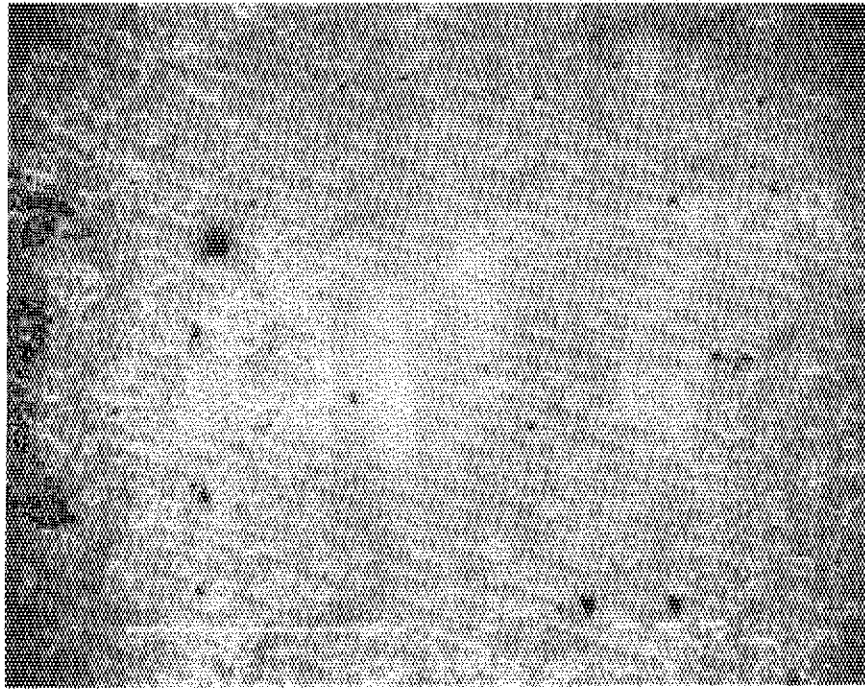


- : 丸 孔
- △ : ミゾ型タイプ-1
- : ミゾ型タイプ-2

図 3.2 各種ハニカム構造によるスパッタ比の違い

表 3.1 走査型電子顕微鏡による観察写真一覧表

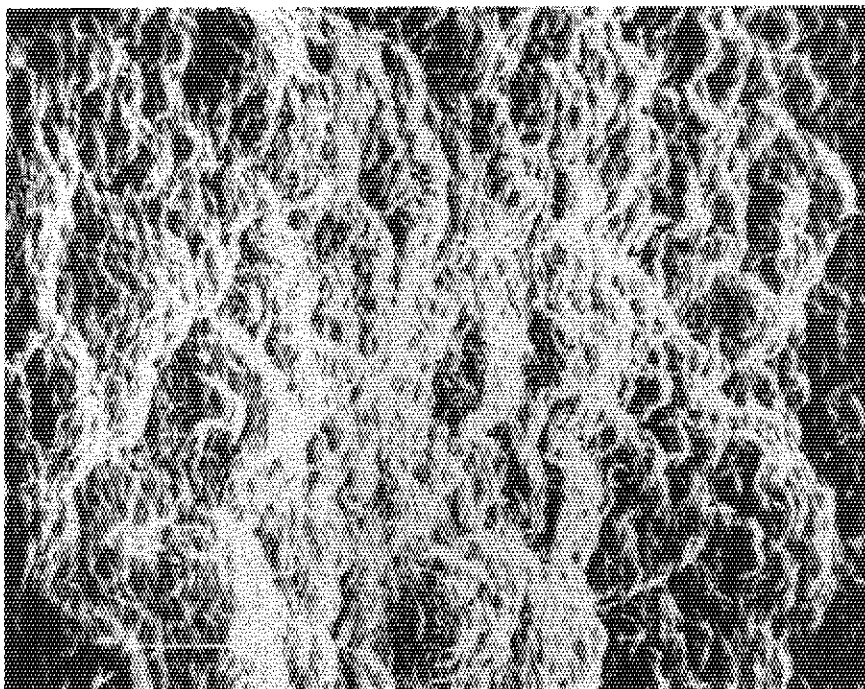
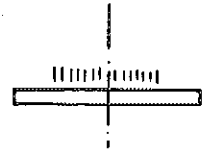
ハニカム構造		撮影箇所	未 照 射			照 射 後		
			倍 率	試 料 傾斜角	図 番	倍 率	試 料 傾斜角	図 番
平	板	全 体	—	—	—	50	0°	①
		全 体	—	—	—	200	-45°	②
角	L/D=1/3	全 体	—	—	—	50	0°	③
		側壁と底面	—	—	—	200	60°	④
	L/D=2/3	全 体	—	—	—	50	0°	⑤
		側壁と底面	—	—	—	200	45°	⑥
	L/D=3/3	全 体	50	0°	⑦	50	0°	⑧
		全 体	50	30°	⑨	50	30°	⑩
		側 壁	200	45°	⑪	200	45°	⑫
		側壁と底面	200	30°	⑬	200	45°	⑭
	L/D=4/3	全 体	—	—	—	50	0°	⑮
		側 壁	—	—	—	200	45°	⑯
		側壁と底面	—	—	—	200	45°	⑰
	丸	孔	全 体	50	45°	⑱	50	30°
頂上と側壁			200	45°	⑳	200	30°	㉑
底 面			200	0°	㉒	200	30°	㉓
溝	型 タイプ-1	全 体	50	0°	㉔	50	0°	㉕
		トップと側壁	200	15°	㉖	200	20°	㉗
		側壁と底面	200	15°	㉘	200	20°	㉙
		全 体	50	-30°	㉚	50	-35°	㉛
		頂上と側壁	200	-30°	㉜	200	-35°	㉝
		側壁と底面	200	-30°	㉞	200	-35°	㉟
溝	型 タイプ-2	全 体	50	0°	㊿	50	0°	㊿
		頂上と側壁	200	15°	㊿	200	0°	㊿
		側壁と底面	200	15°	㊿	200	15°	㊿



1000 μm

3.3

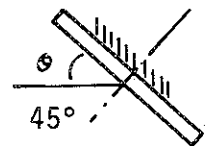
1

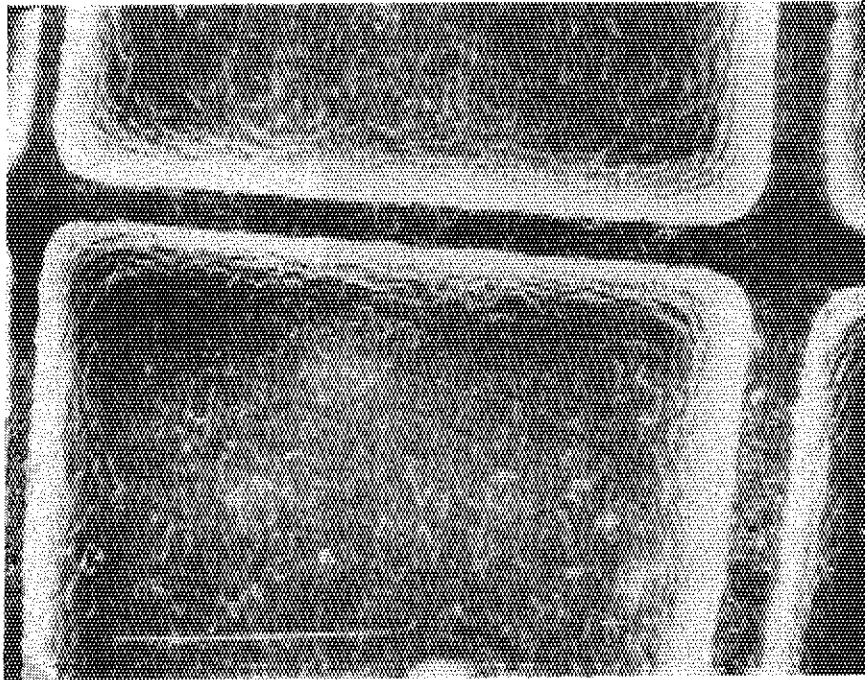


100 μm

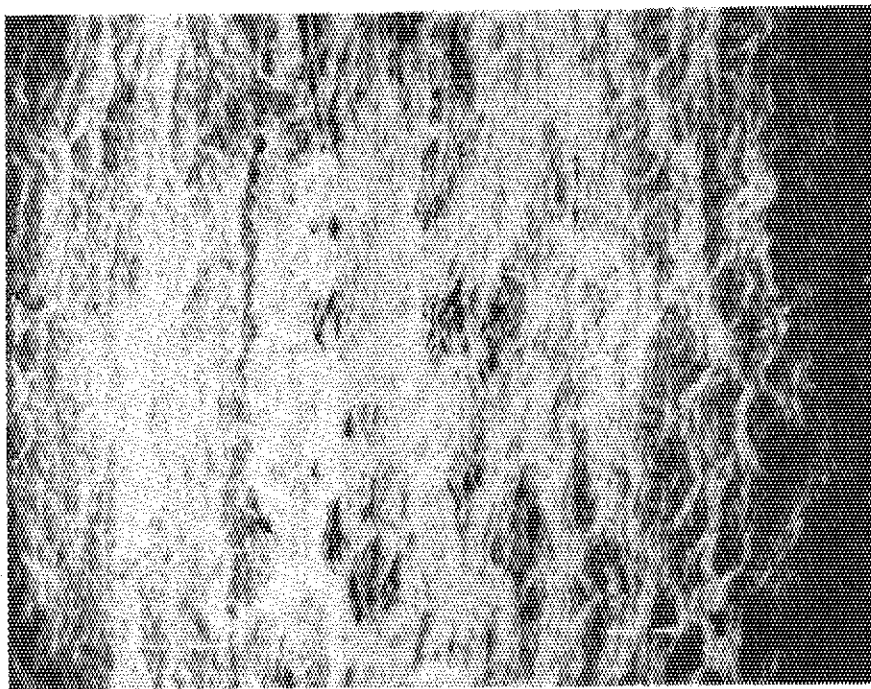
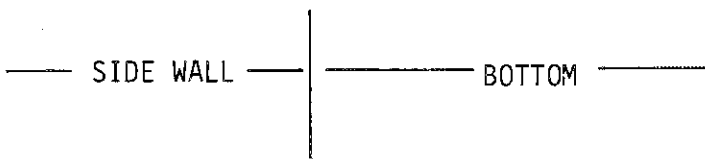
3.3

2





1000µm



100µm

図 3.3

3

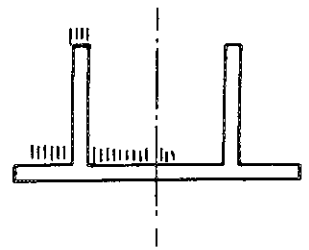
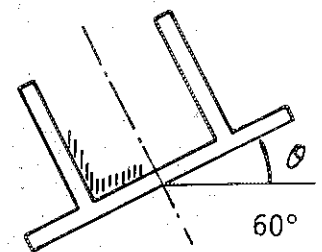


図 3.3

4



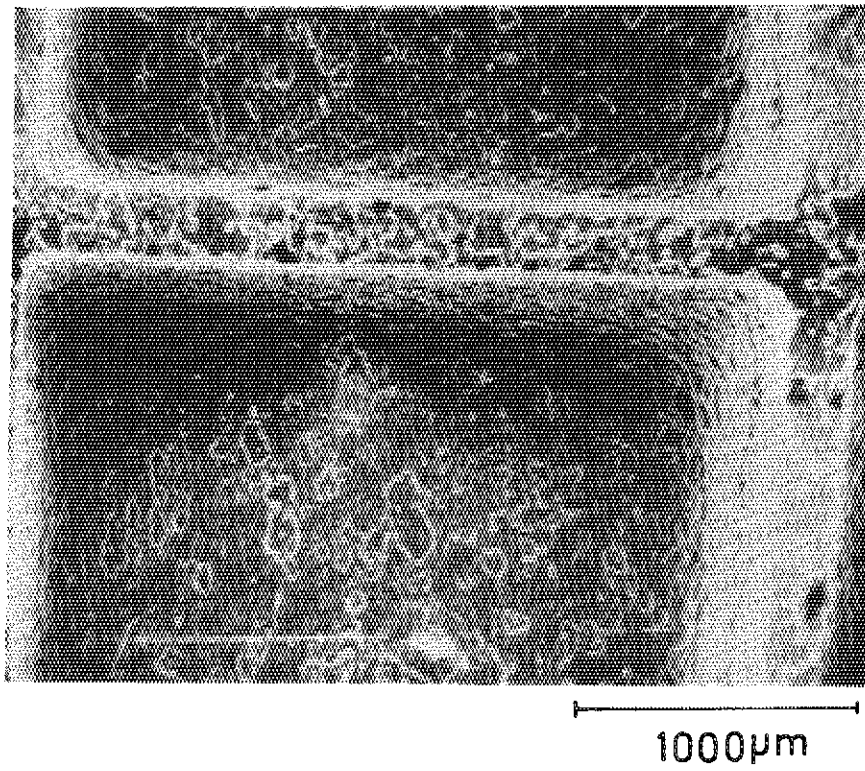


図 3.3

5

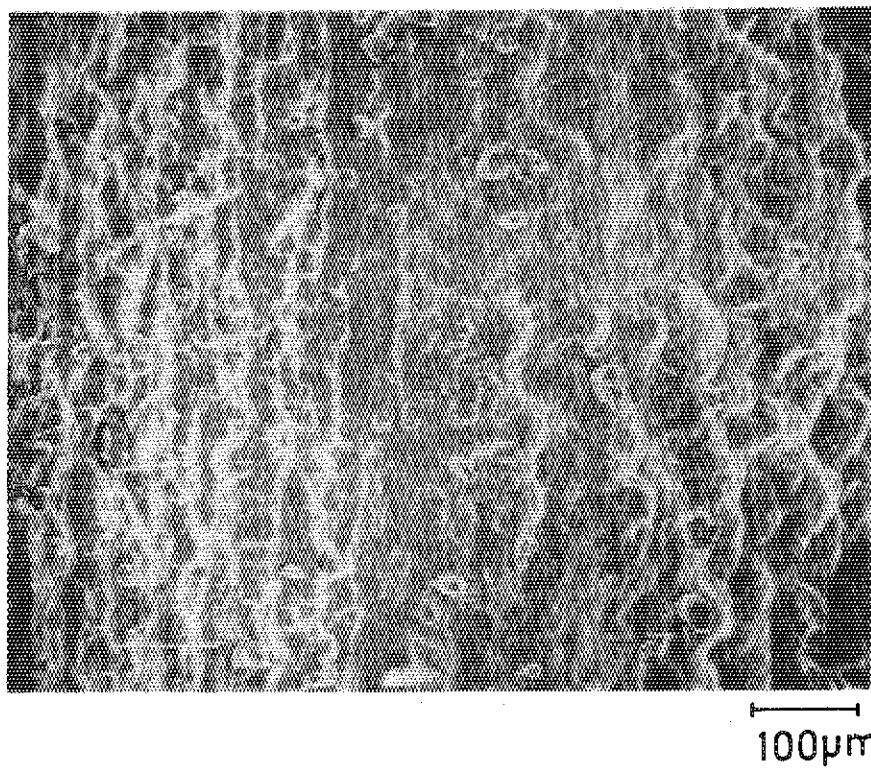
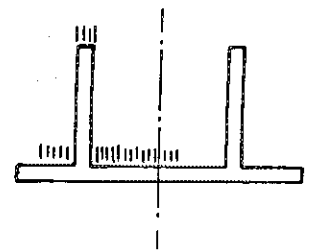
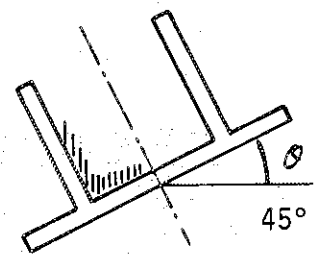


図 3.3

6



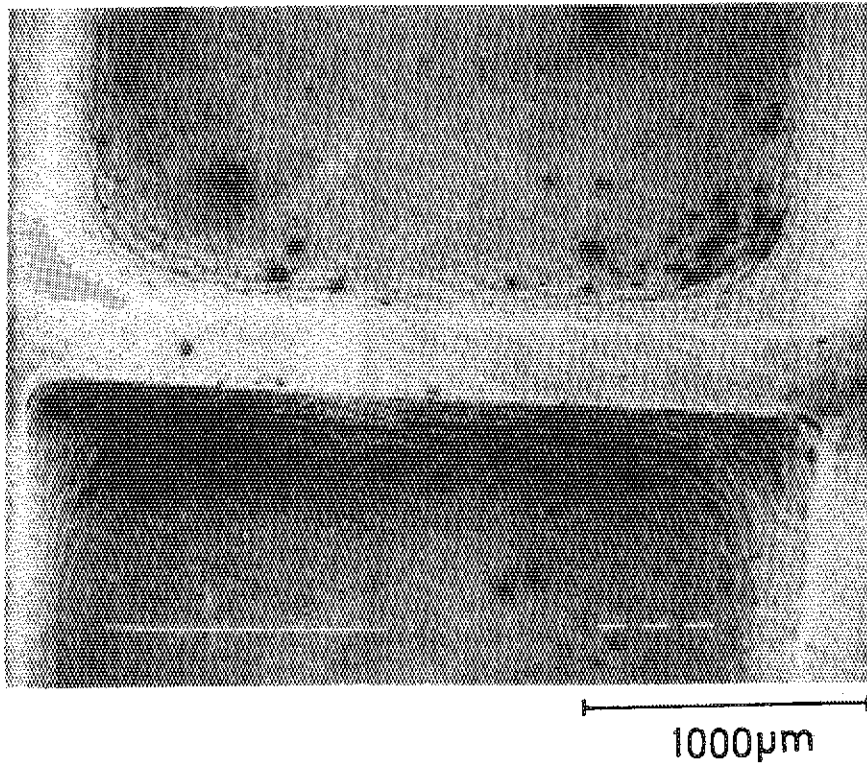


図 3.3
⑦

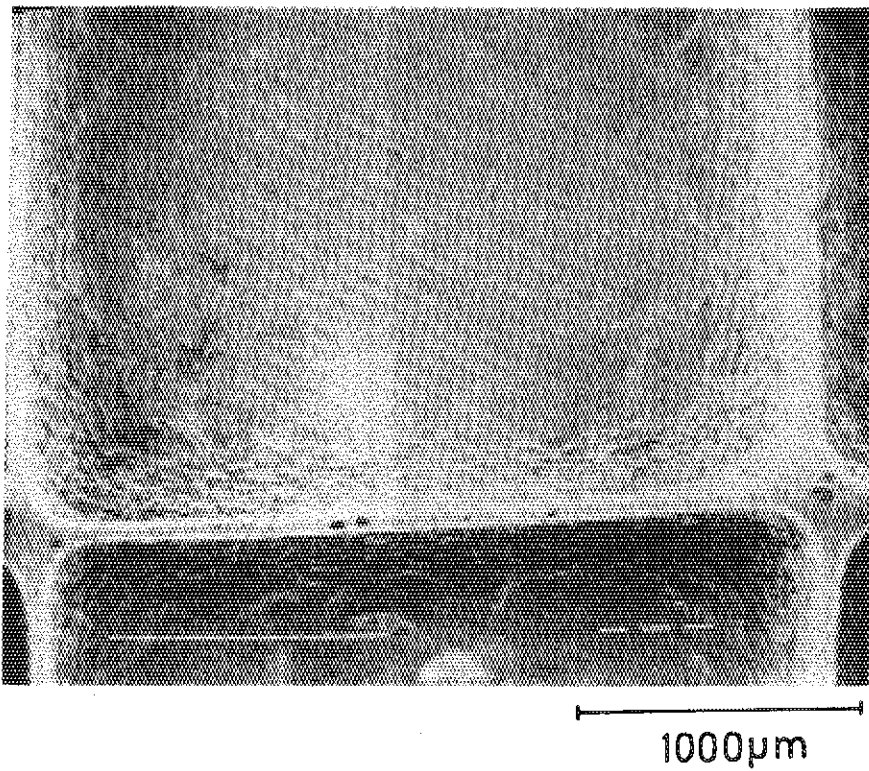
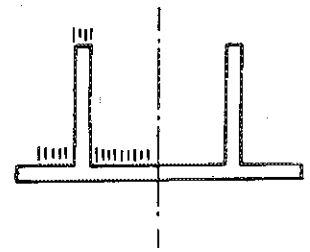
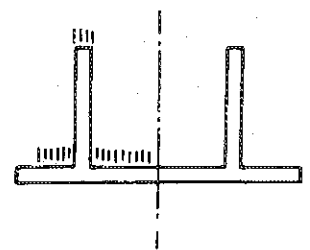
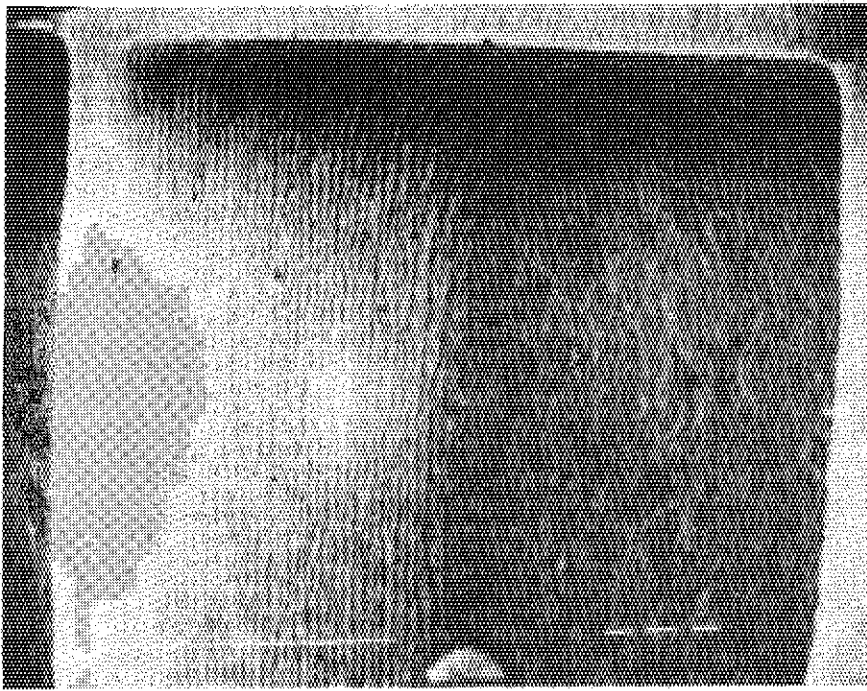


図 3.3
⑧

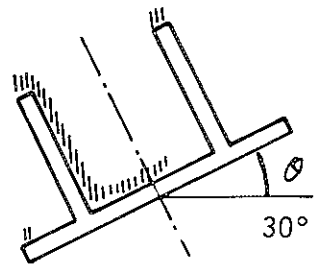




1000μm

3.3

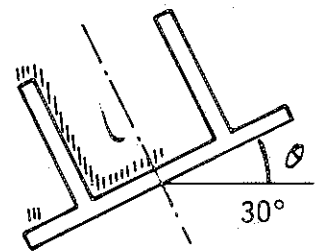
9



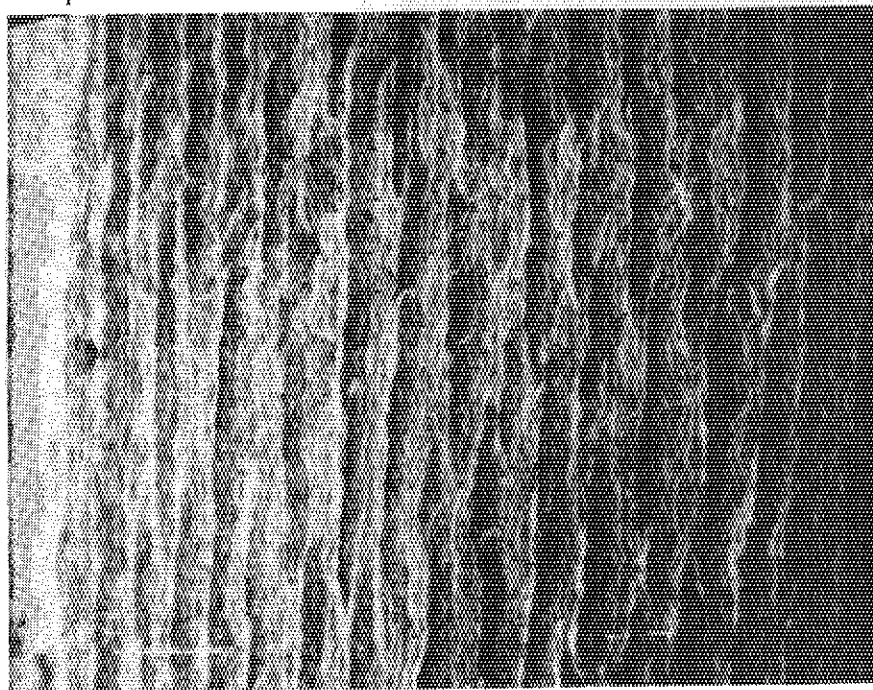
1000μm

3.3

10



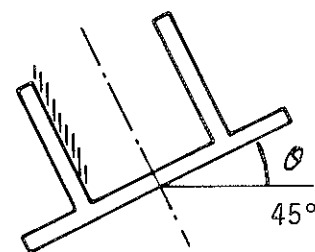
SIDE WALL



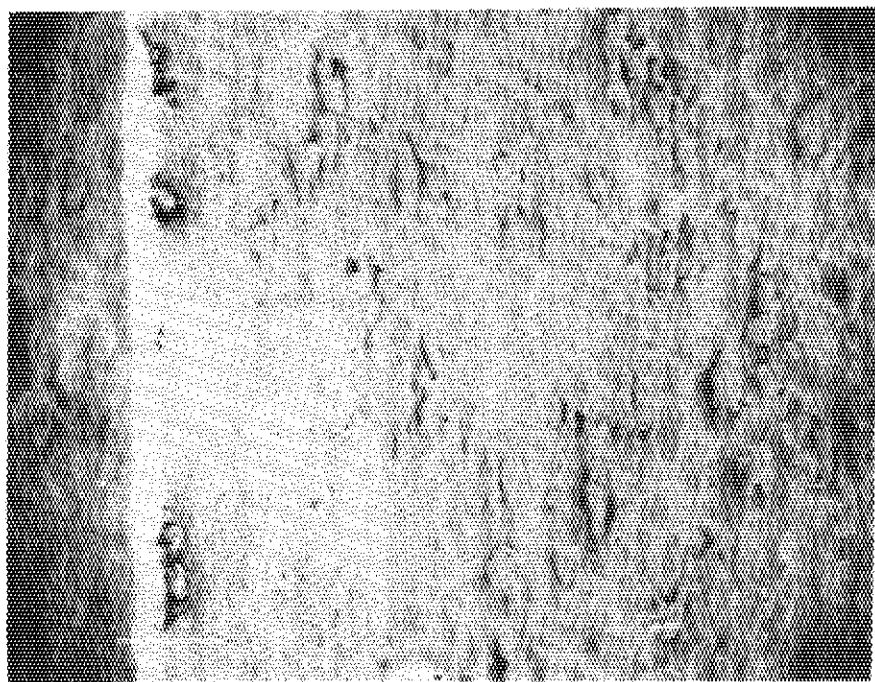
100µm

3.3

11



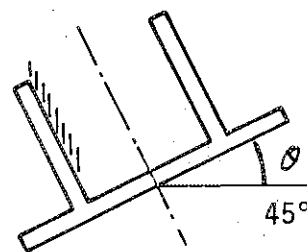
SIDE WALL



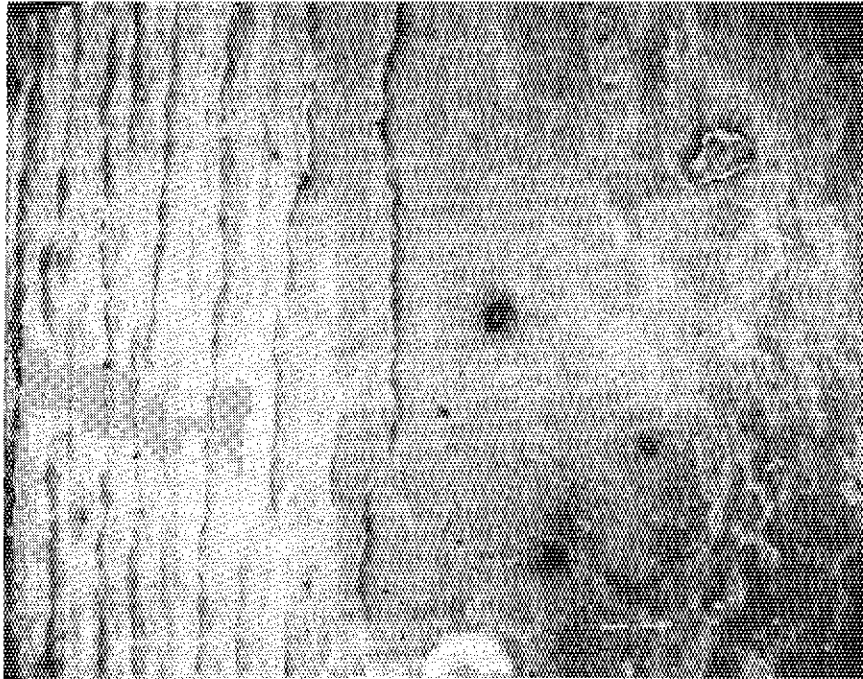
100µm

3.3

12



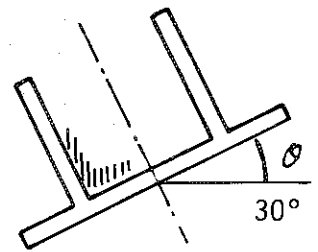
— SIDE WALL — | — BOTTOM —



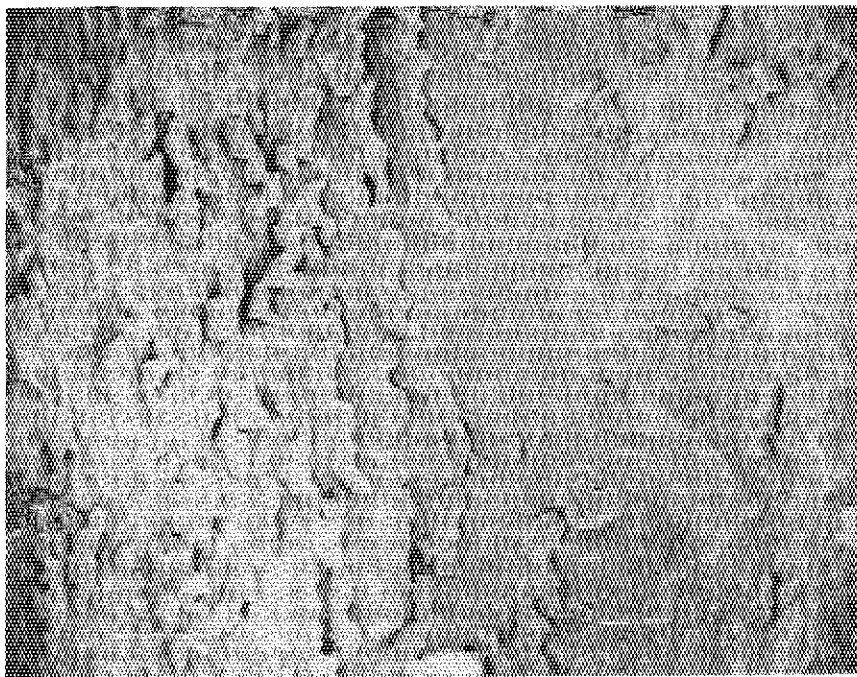
100μm

図 3.3

(13)



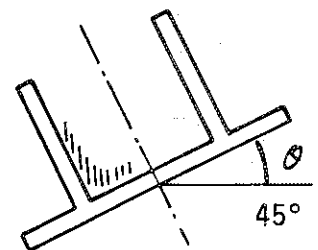
— SIDE WALL — | — BOTTOM —

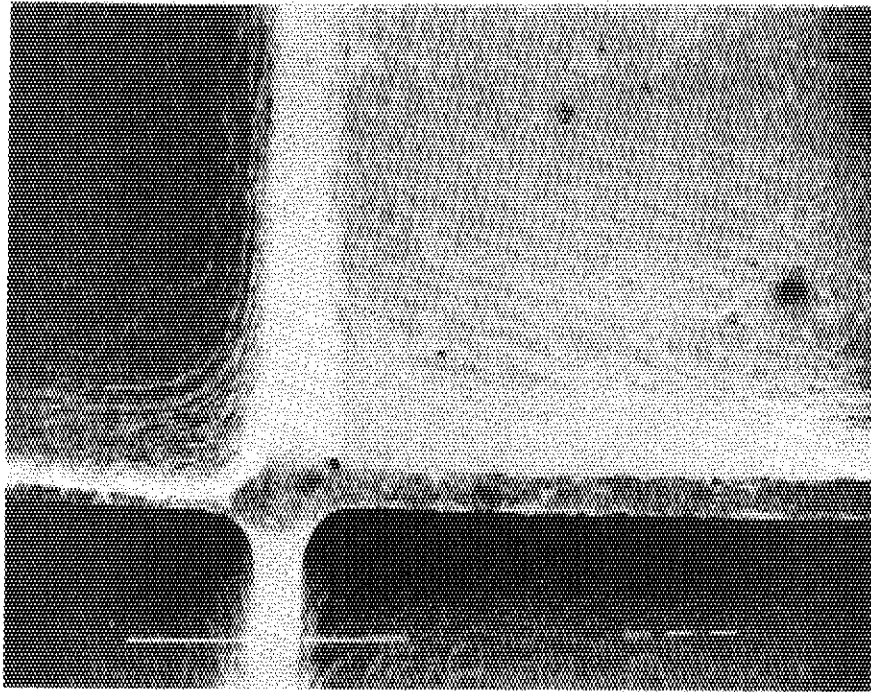


100μm

図 3.3

(14)

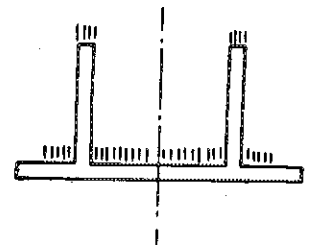




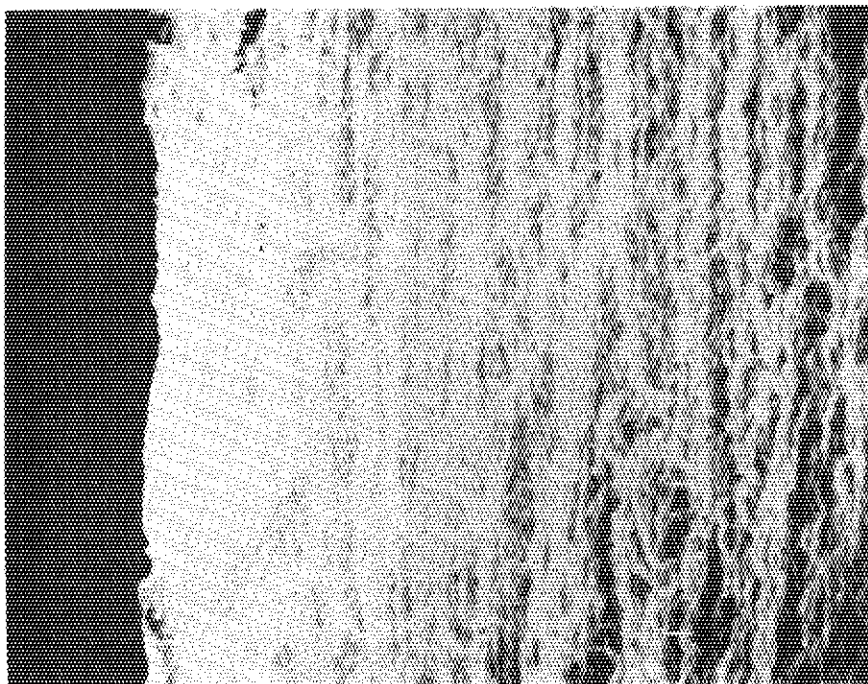
1000 μ m

3.3

15



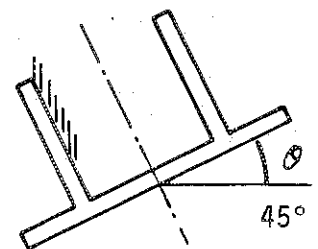
SIDE WALL



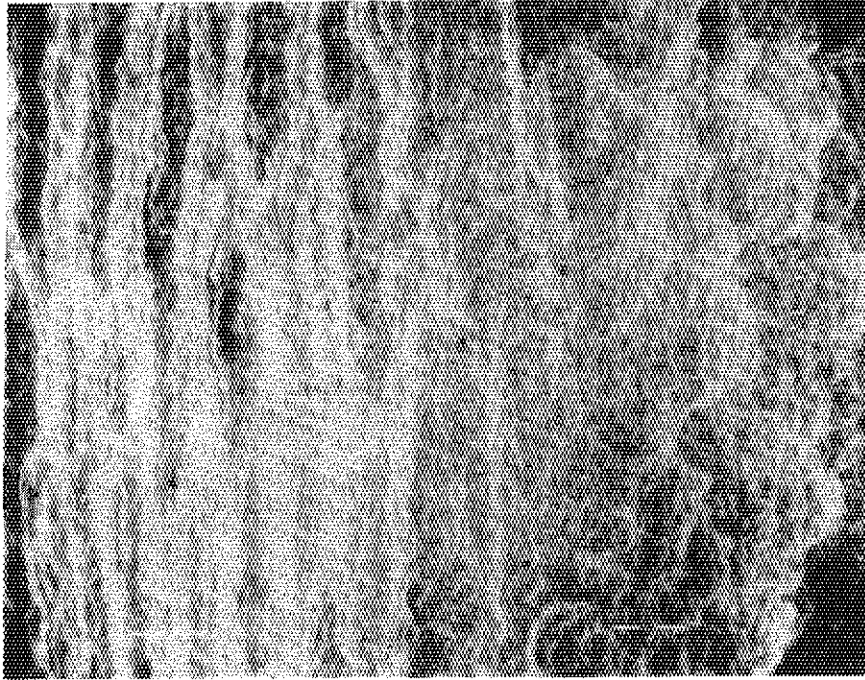
100 μ m

3.3

16



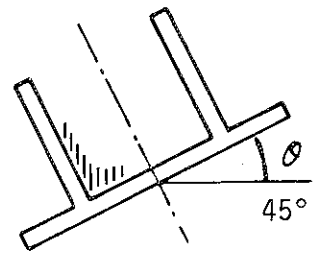
— SIDE WALL — | — BOTTOM —

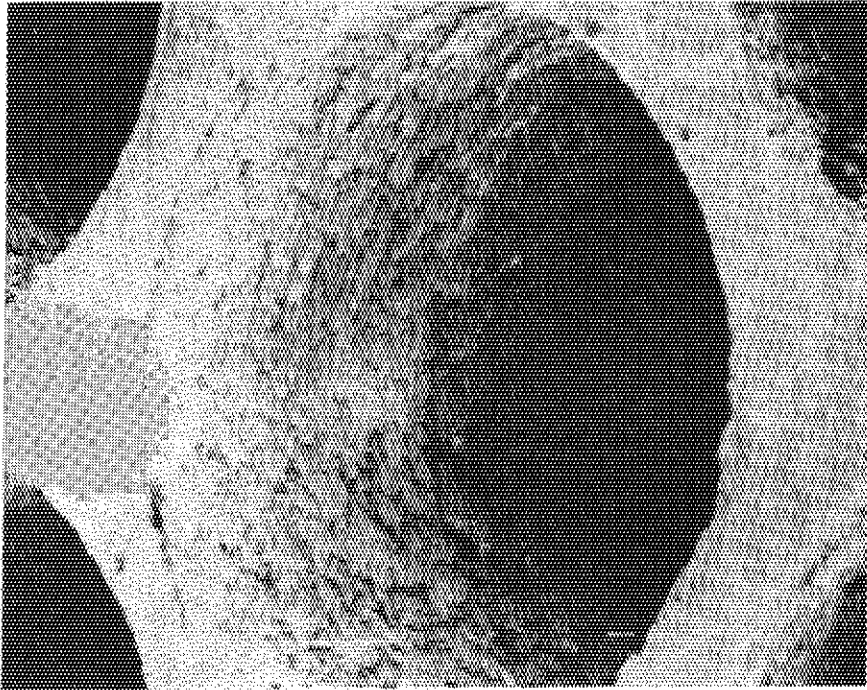


100μm

図 3.3

(17)

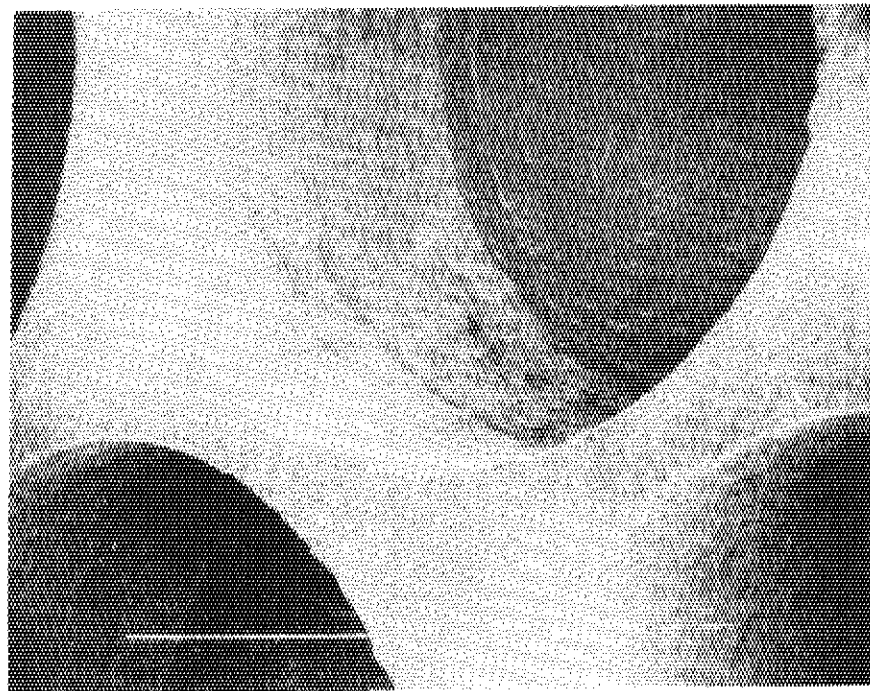
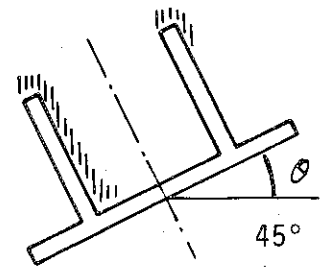




1000μm

図 3.3

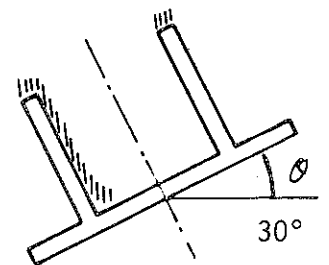
(18)



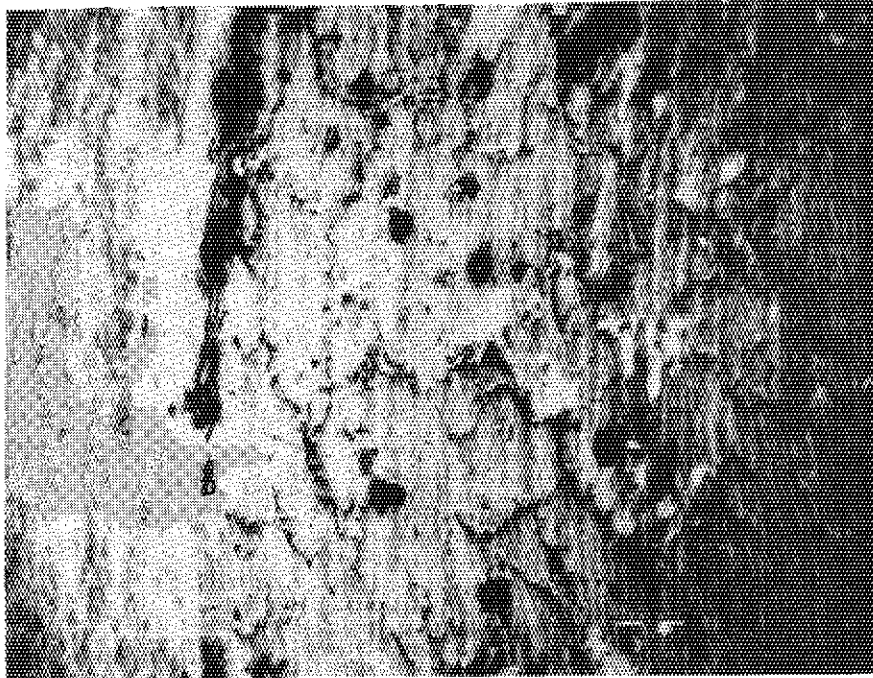
1000μm

図 3.3

(19)



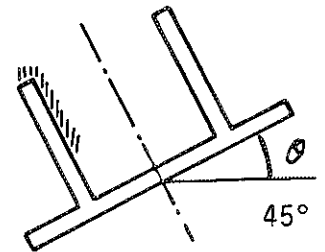
— TOP — | — SIDE WALL —



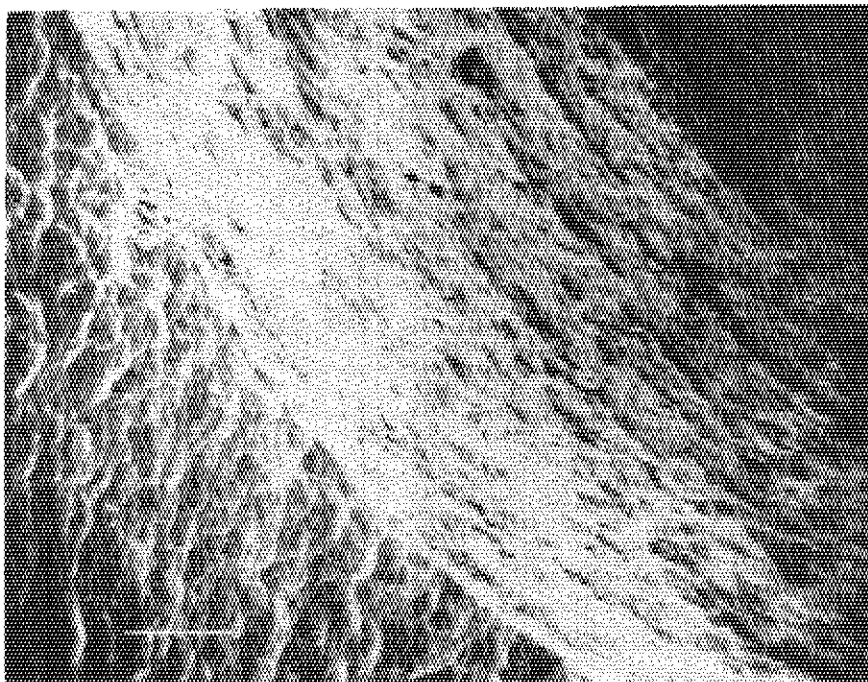
100μm

3.3

20



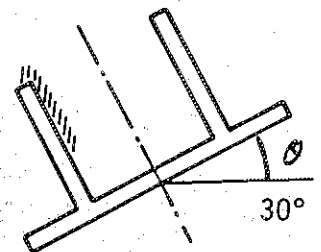
| — SIDE WALL —



100μm

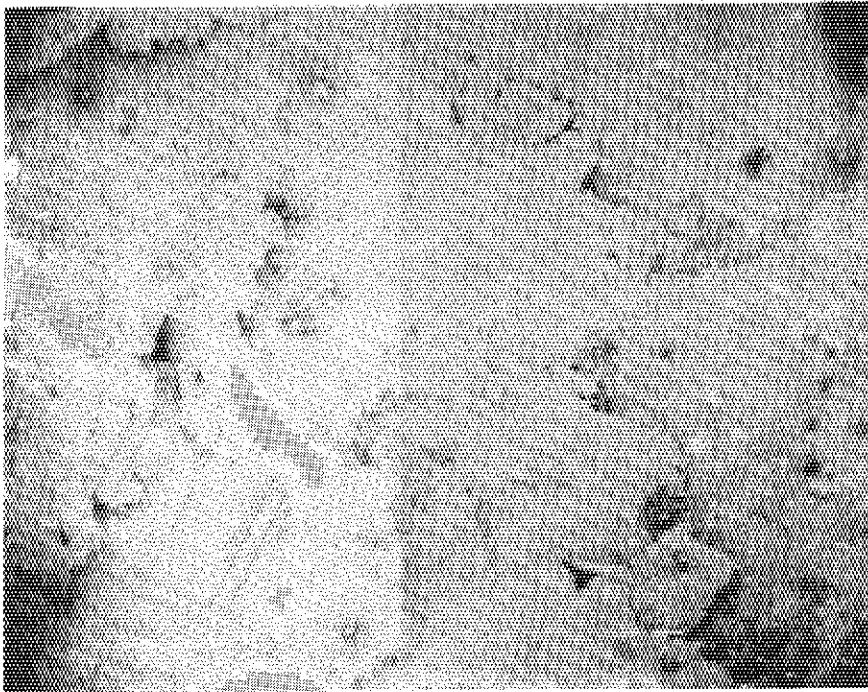
3.3

21



— TOP —

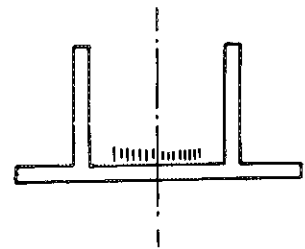
BOTTOM



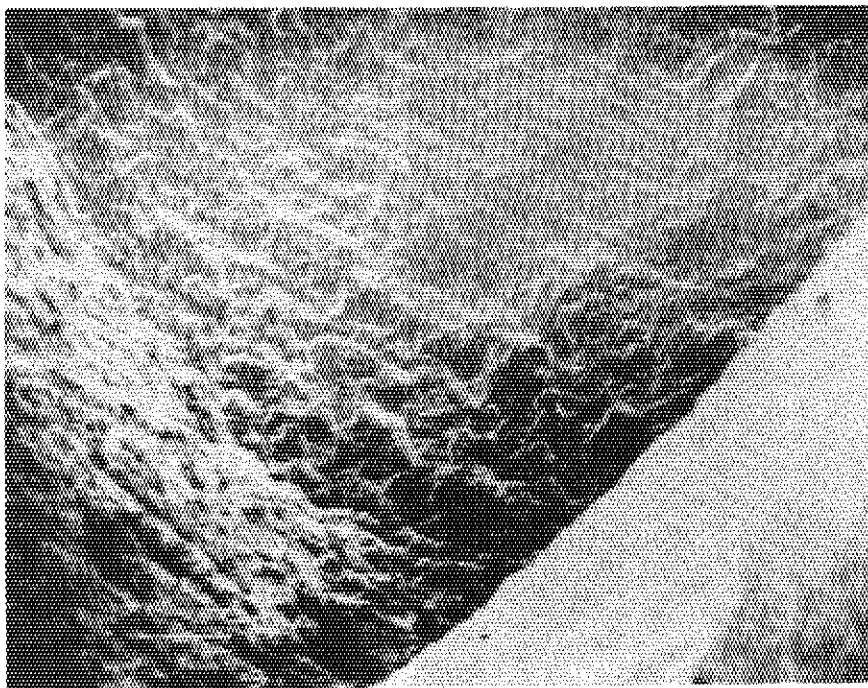
100µm

3.3

22



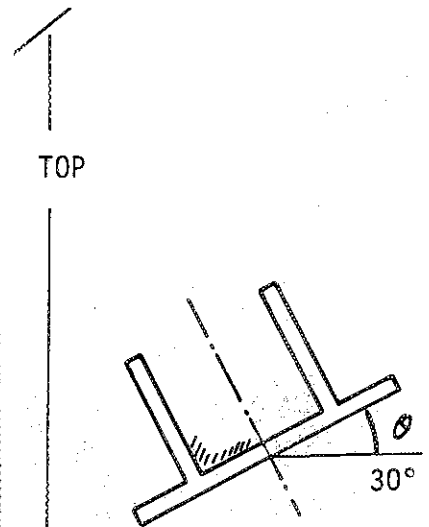
BOTTOM



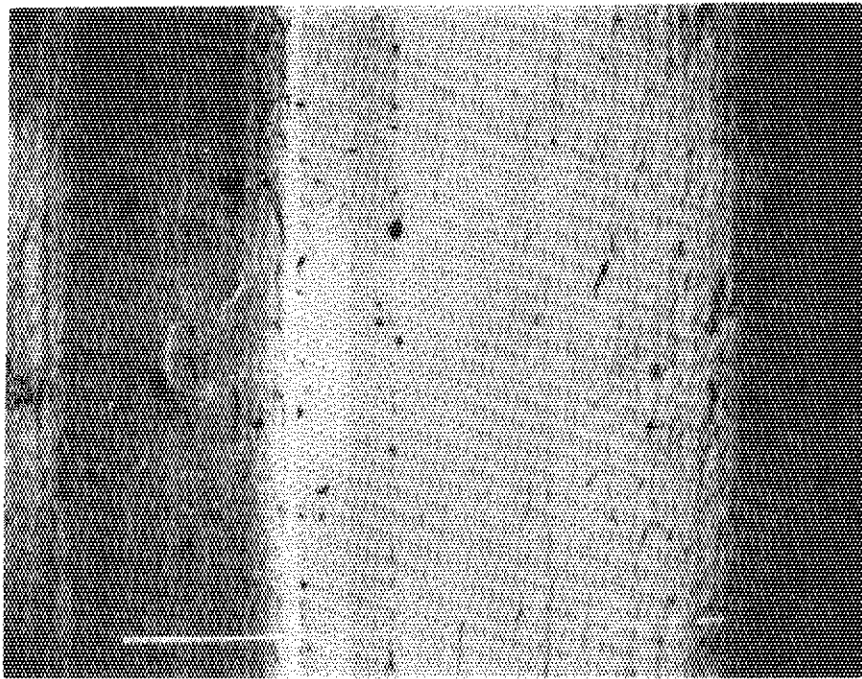
100µm

3.3

23



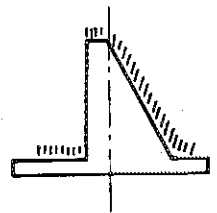
— BOTTOM — | TOP | — SIDE WALL — | — BOTTOM —



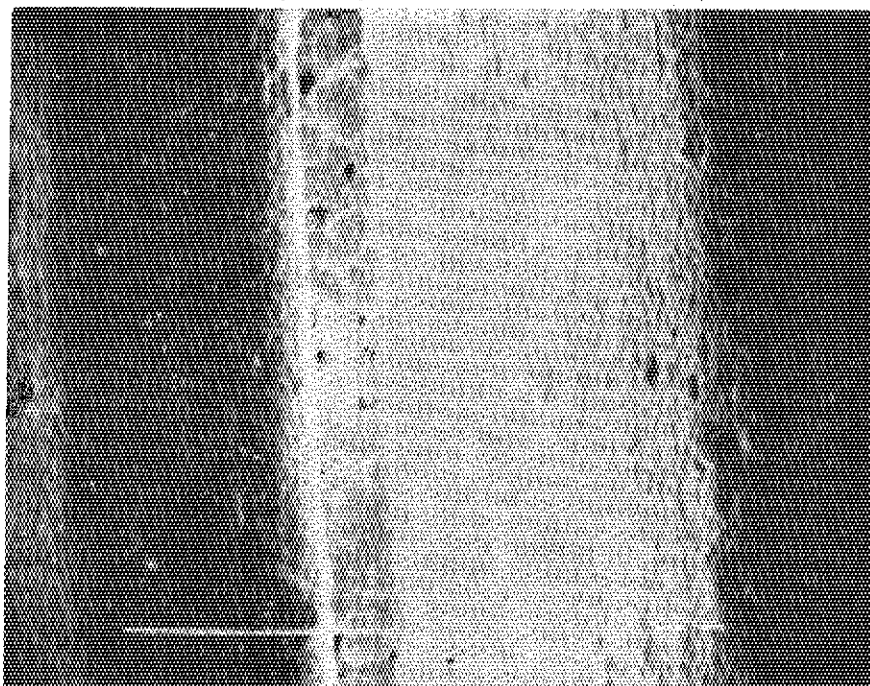
1000μm

図 3.3

24



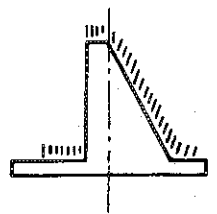
— BOTTOM — | TOP | — SIDE WALL — | — BOTTOM —



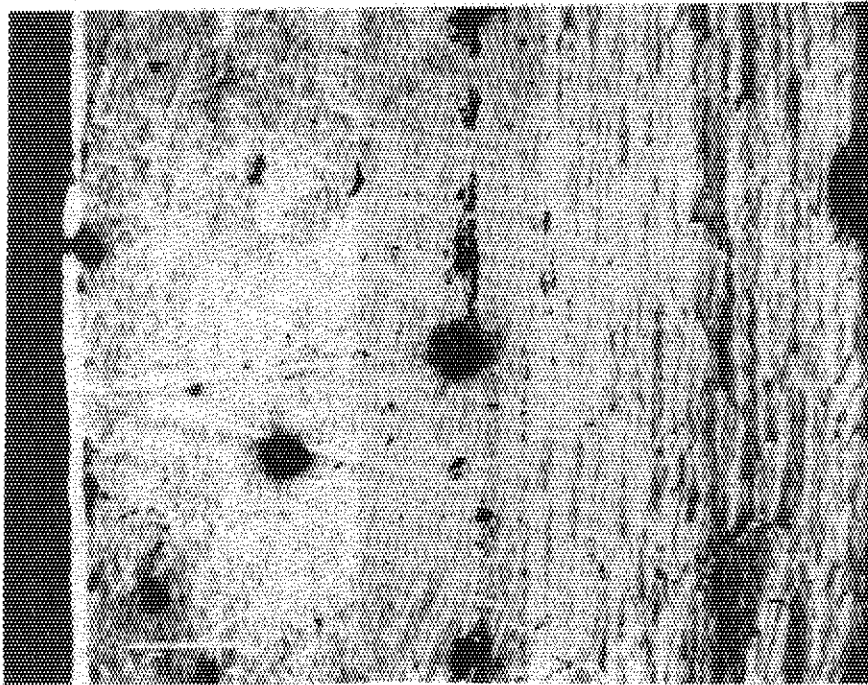
1000μm

図 3.3

25



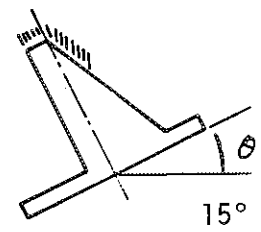
TOP | SIDE WALL



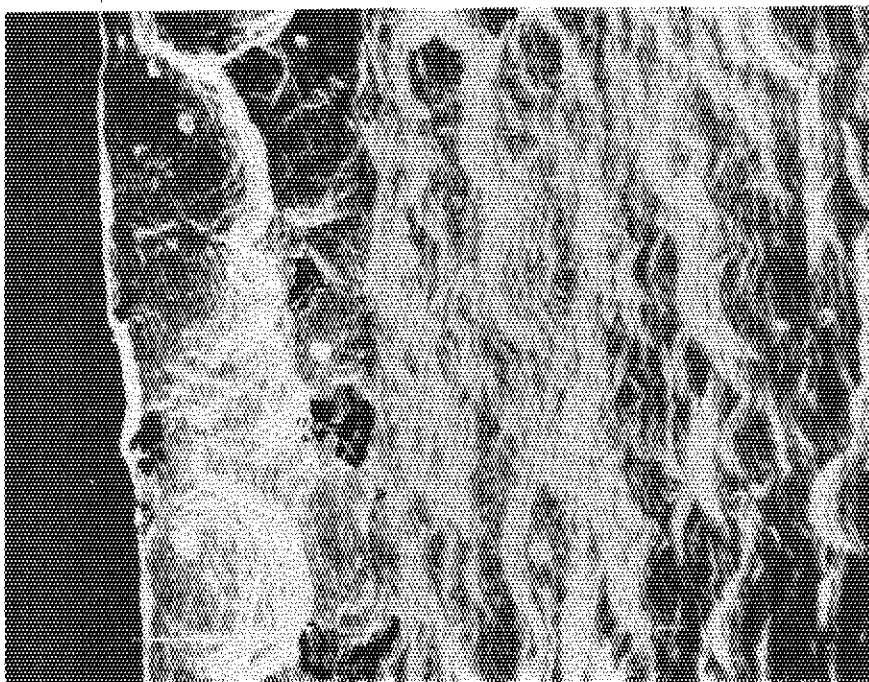
100μm

3.3

26



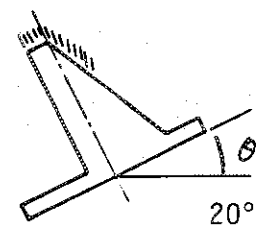
TOP | SIDE WALL



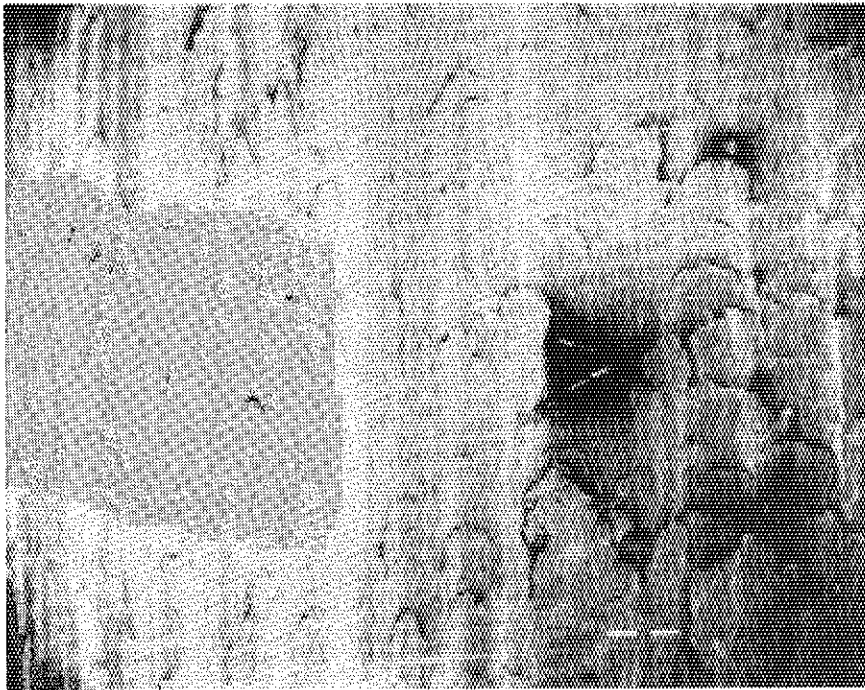
100μm

3.3

27



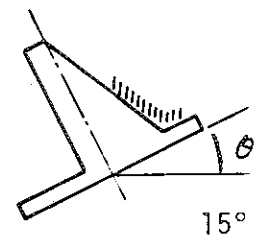
———— SIDE WALL ———— | ———— BOTTOM ————



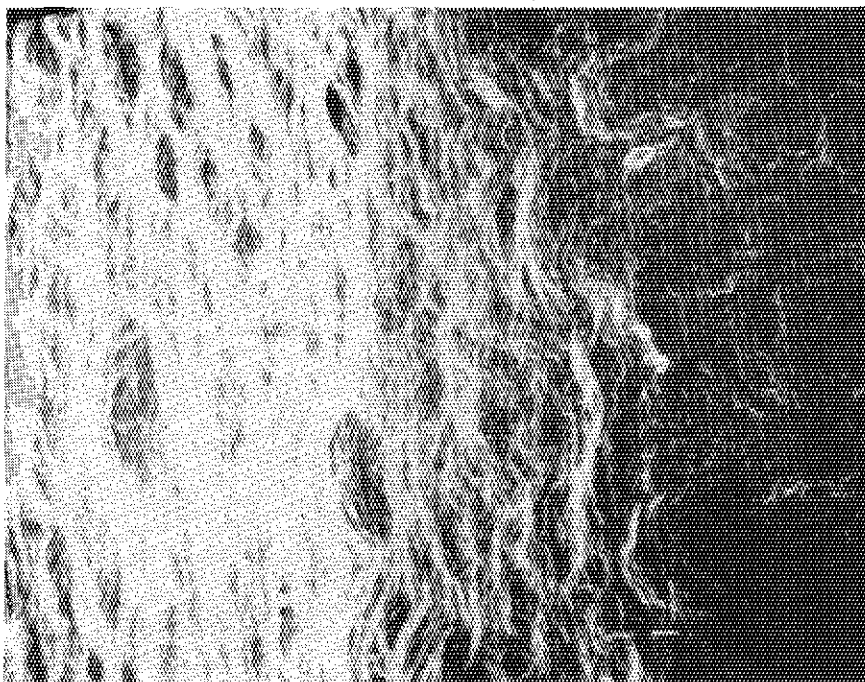
100μm

☒ 3.3

28



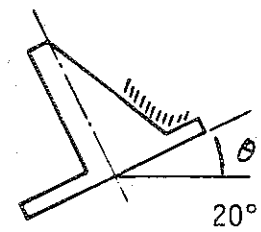
———— SIDE WALL ———— | ———— BOTTOM ————



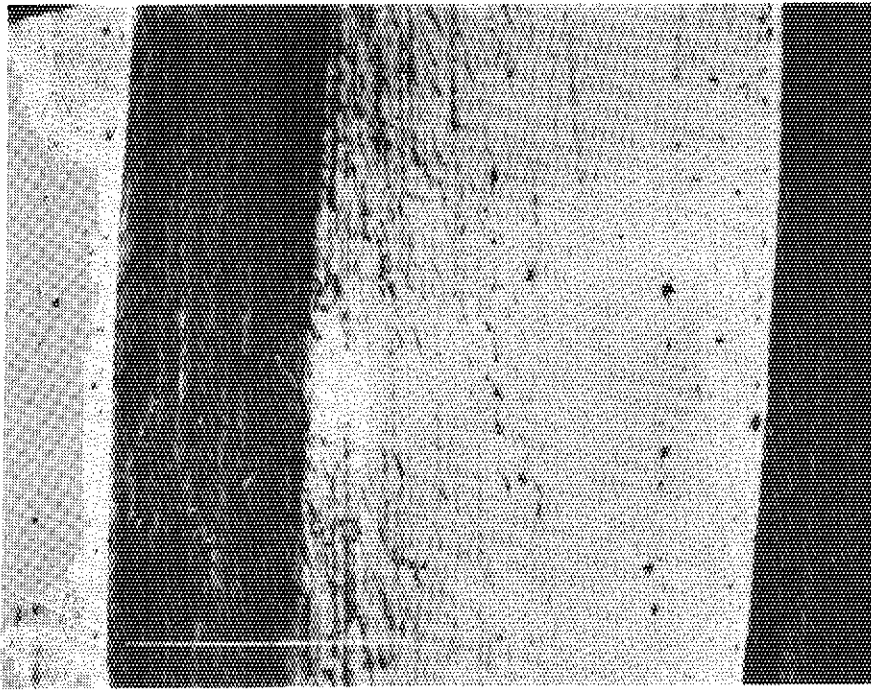
100μm

☒ 3.3

29



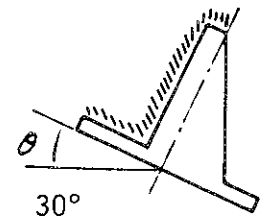
— BOTTOM — — SIDE WALL — — TOP —



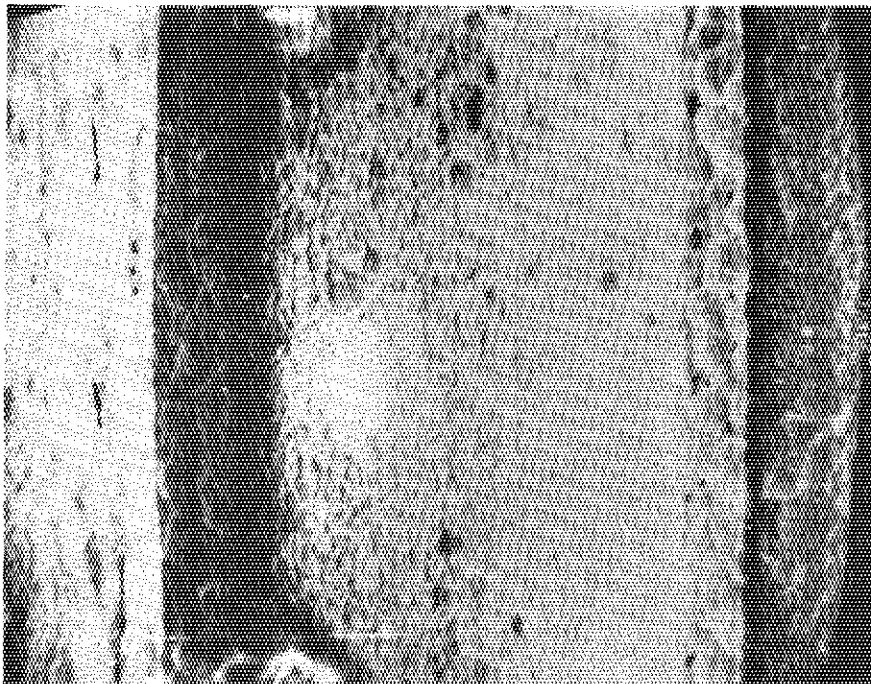
1000μm

3.3

30



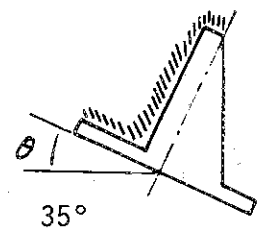
— BOTTOM — — SIDE WALL — — TOP —



1000μm

3.3

31



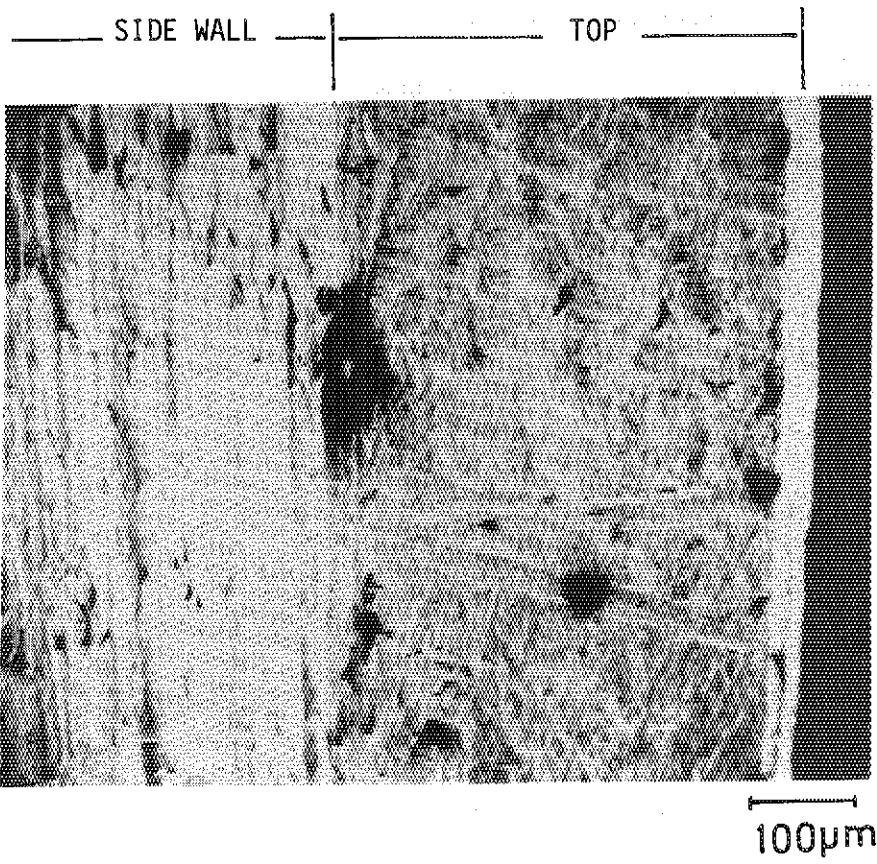


図 3.3

(32)

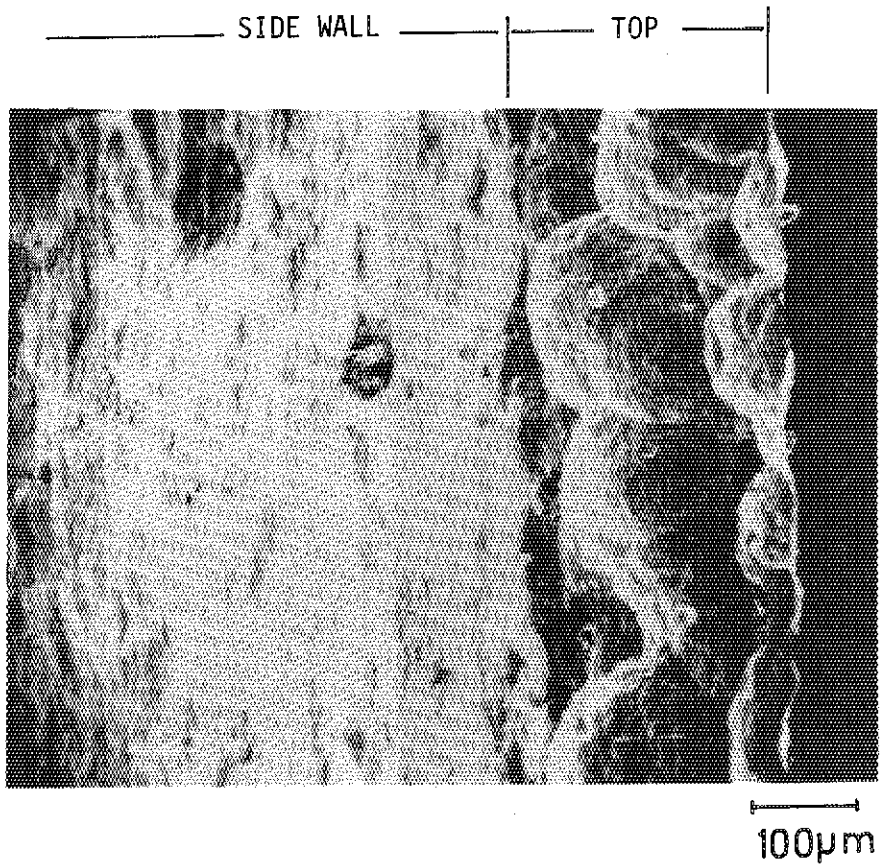
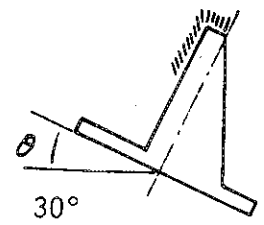
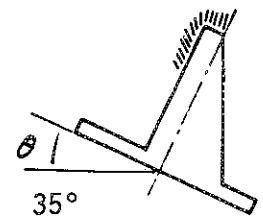


図 3.3

(33)



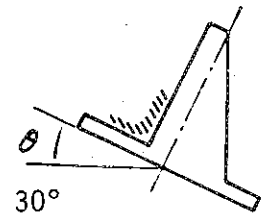
———— BOTTOM ———— | ———— SIDE WALL ————



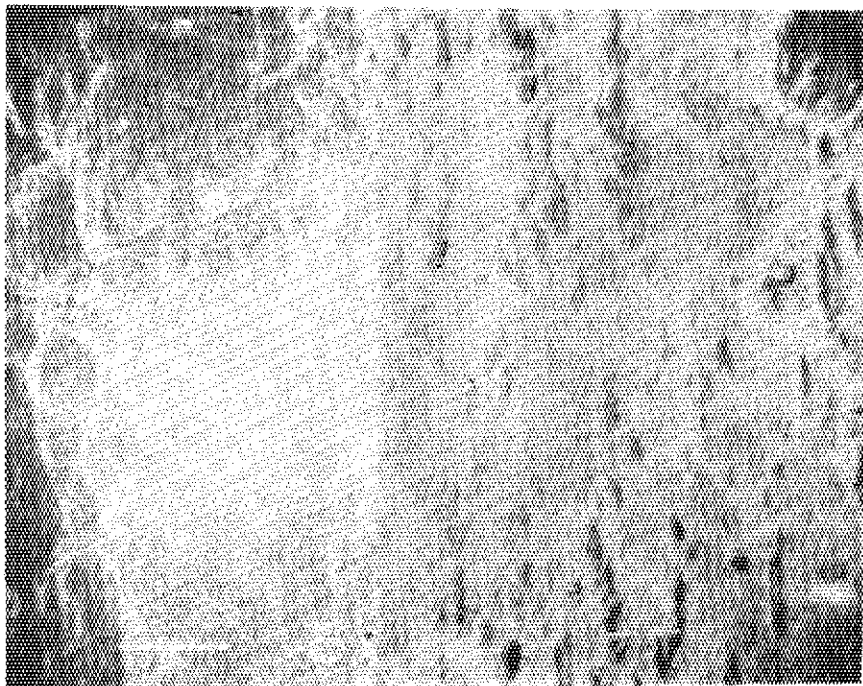
100μm

3.3

34



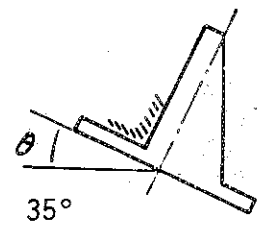
———— BOTTOM ———— | ———— SIDE WALL ————



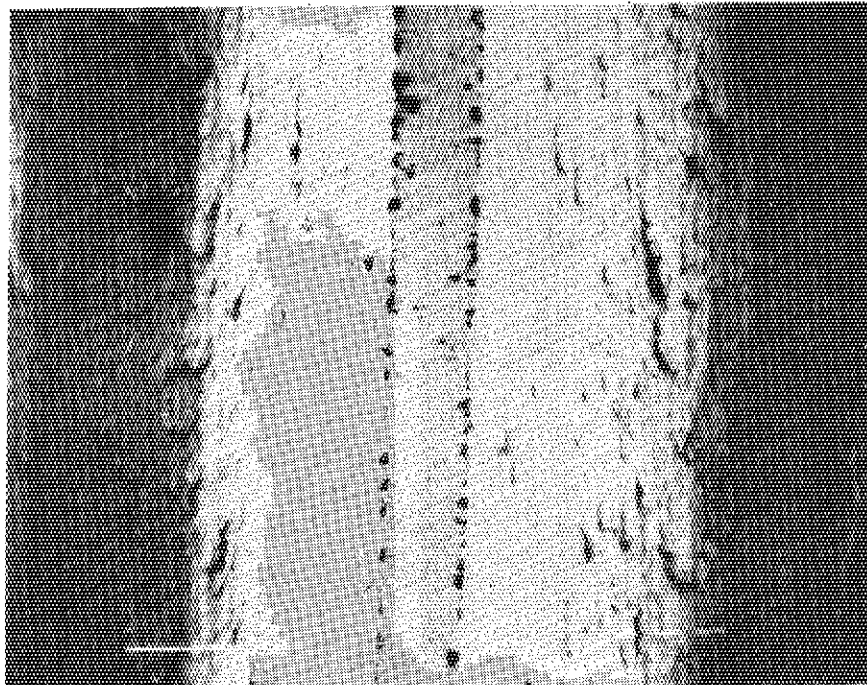
100μm

3.3

35



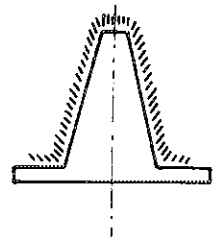
—BOTTOM— | —SIDE WALL— | —TOP— | —SIDE WALL— | —BOTTOM—



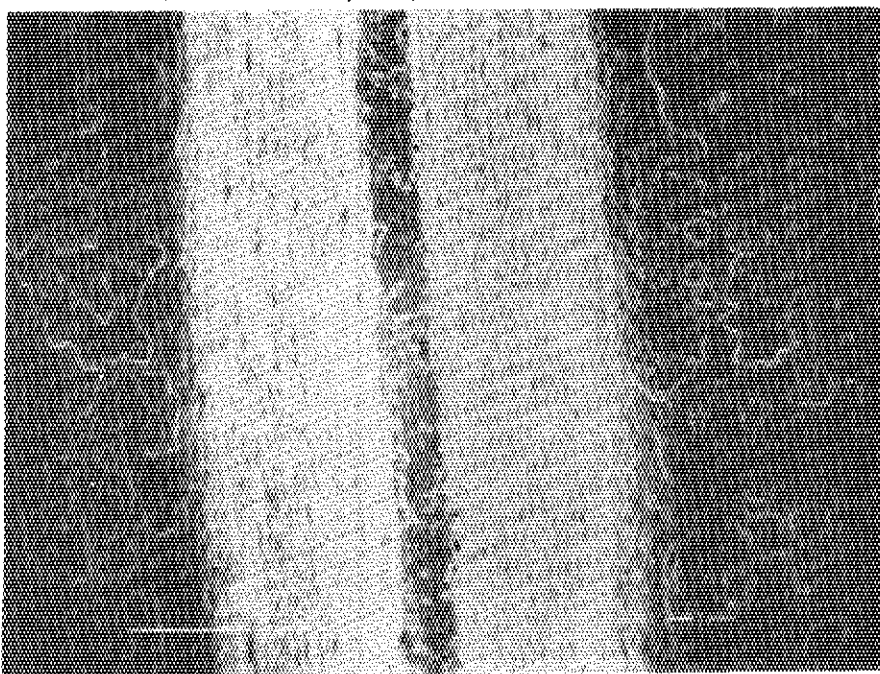
1000 μm

図 3.3

36



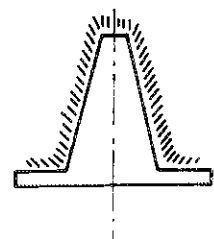
—BOTTOM— | —SIDE WALL— | —TOP— | —SIDE WALL— | —BOTTOM—



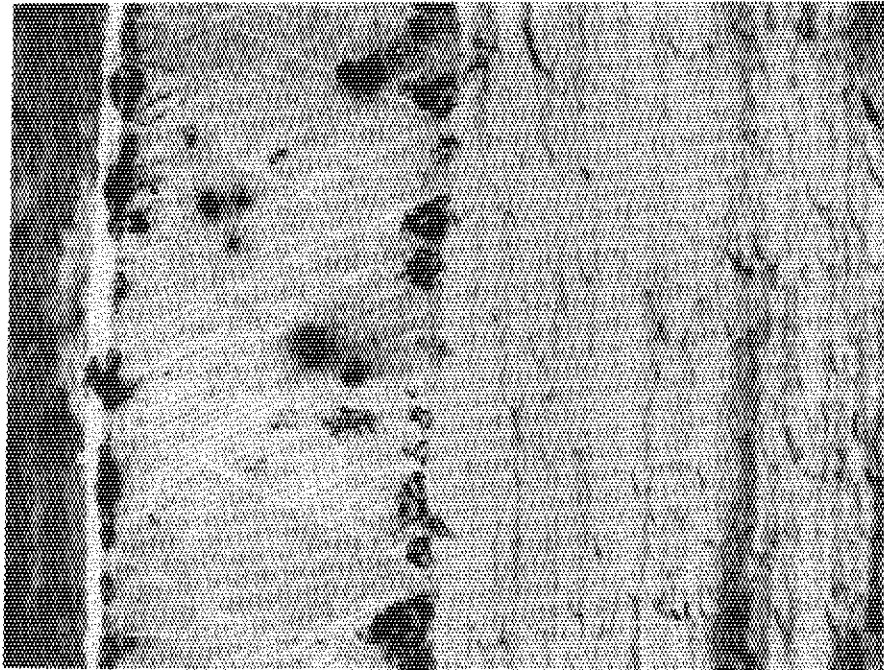
1000 μm

図 3.3

37



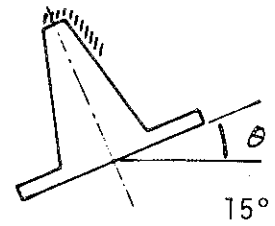
TOP SIDE WALL



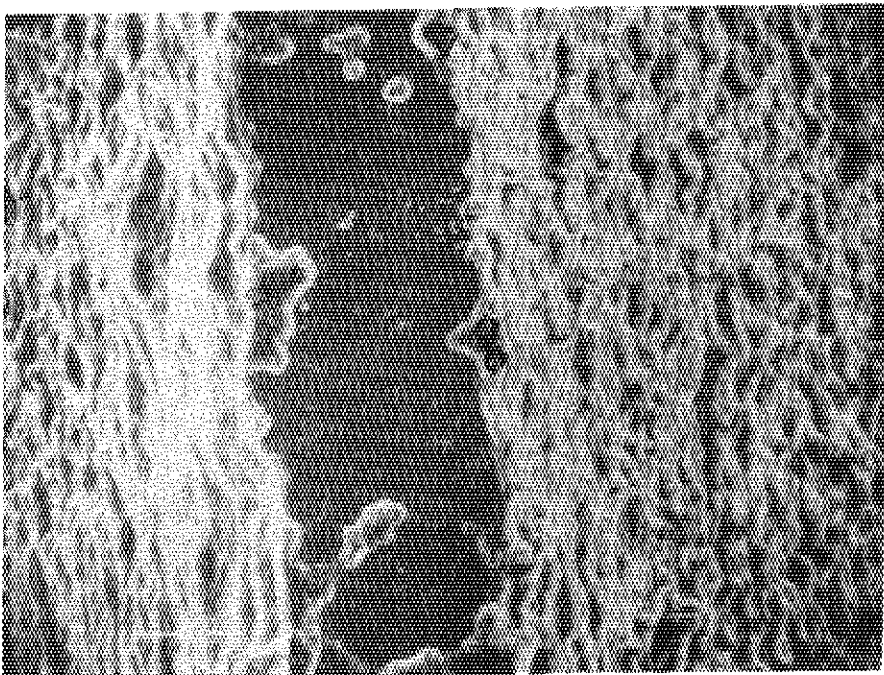
100μm

3.3

38



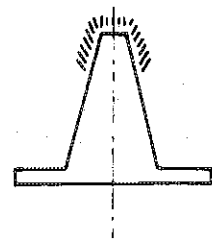
SIDE WALL TOP SIDE WALL



100μm

3.3

39



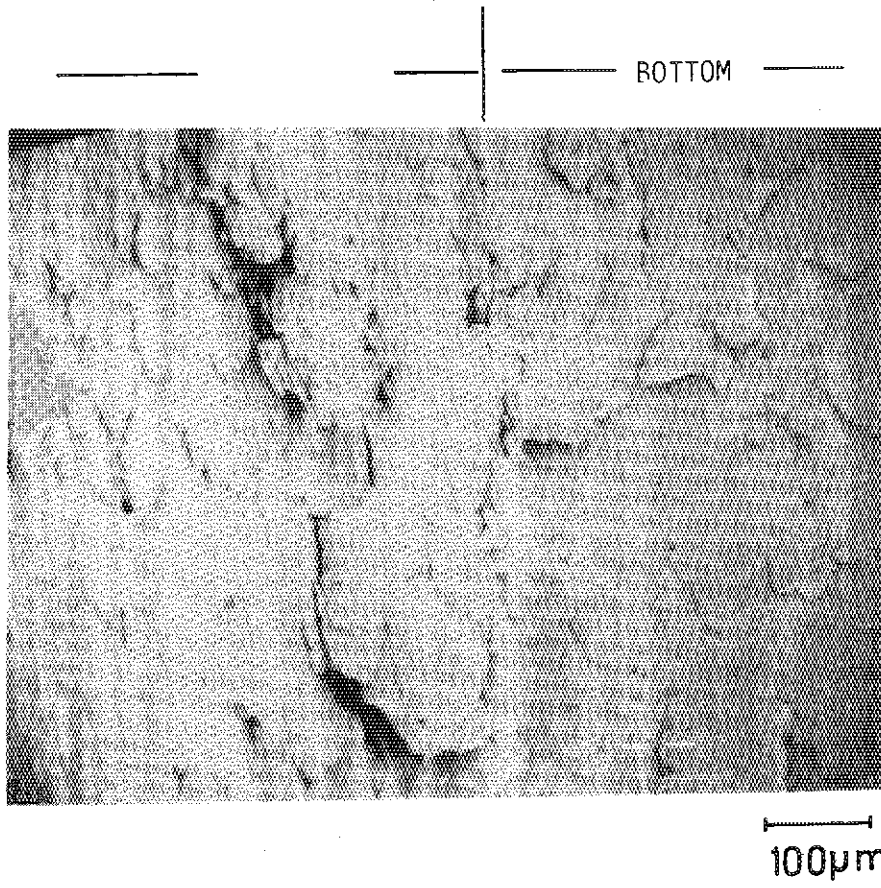


図 3.3

(40)

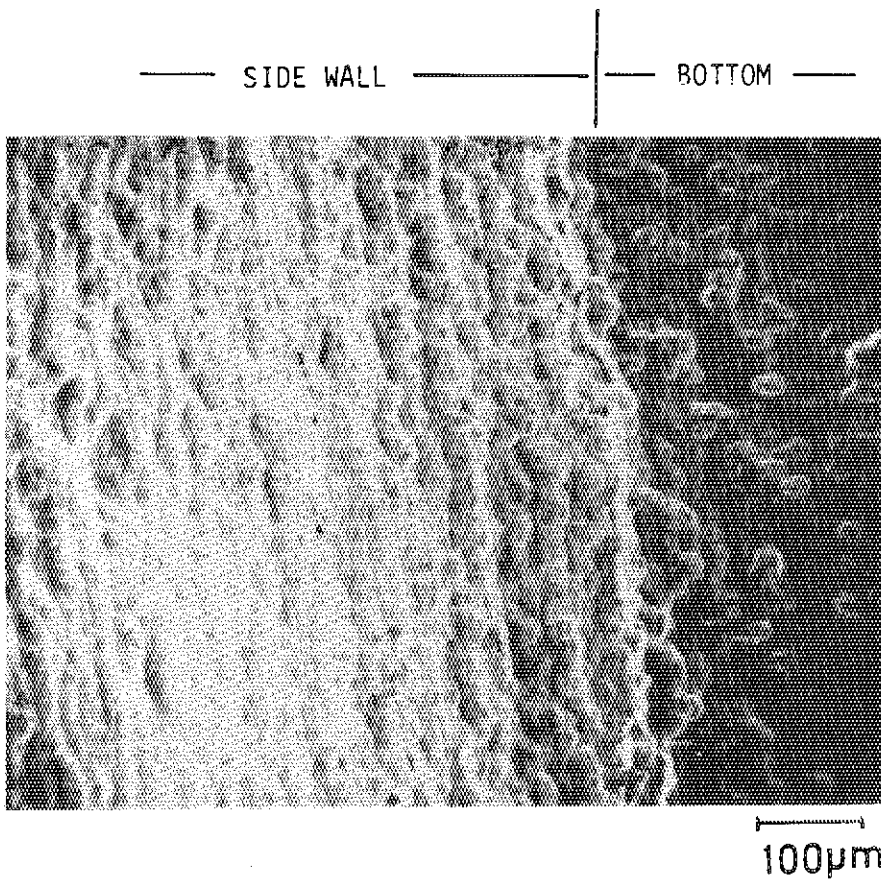
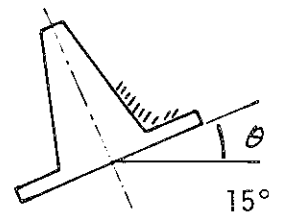
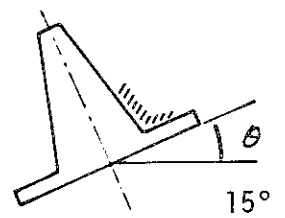


図 3.3

(41)



4 結 論

今回の実験結果から次の事が示された。

- ① 角孔ハニカムの場合，平板に比べスパッタ比を $1/20 \sim 1/30$ 程度まで減少させることができた。
- ② 各種ハニカム構造によるスパッタ比の違いの結果からは，ハニカム孔占有率の大きいもの程その効果があった。

これらは今後のハニカム構造をさらに発展させて行く上で示唆に富むものである。

謝 辞

実験ならびに本報告執筆にあたって，当研究部炉心工学研究室 曾根 和穂，大塚 英男，山田 礼司，西堂 雅博の各氏ならびに村上 義夫室長，および大型トカマク開発部 清水 正亜，田島 輝彦ならびに太田 充グループリーダーの各氏に種々の議論および助言を戴いた。ここに謝意を表します。

参 考 文 献

- 1) たとえば宮原 昭：日本原子力学会誌， 17， 147 (1975)
- 2) Rovner L. H., Hopkins G. R. : Nucl. Technol., 29, 274 (1976)
- 3) 五明 由夫他：JAERI-M 6432 (1976)
- 4) Cramer S. N., Oblow E. M. : ORNL-TM-4708, Oak Ridge Natl. Lab. (1974); Nucl. Fusion, 15, 339 (1975)
- 5) Cramer S. N., Oblow E. M. : ORNL-TM-4981, Oak Ridge Natl. Lab. (1975)
- 6) 吉川 允二：JAERI-M 5849 (1974)
- 7) 中村 博雄他：JAERI-M 7013 (1977)
- 8) 田村 早苗，吉川 允二他：臨界プラズマ試験装置設計報告書・Ⅰ(第1次設計報告書) (1974)
- 9) 田村 早苗，吉川 允二他：臨界プラズマ試験装置設計報告書・Ⅴ(予備設計仕様書) (1974)
- 10) 中村 博雄：(刊行予定)

4 結 論

今回の実験結果から次の事が示された。

- ① 角孔ハニカムの場合、平板に比べスパッタ比を $1/20 \sim 1/30$ 程度まで減少させることができた。
- ② 各種ハニカム構造によるスパッタ比の違いの結果からは、ハニカム孔占有率の大きいもの程その効果があった。

これらは今後のハニカム構造をさらに発展させて行く上で示唆に富むものである。

謝 辞

実験ならびに本報告執筆にあたって、当研究部炉心工学研究室 曾根 和穂、大塚 英男、山田 礼司、西堂 雅博の各氏ならびに村上 義夫室長、および大型トカマク開発部 清水 正垂、田島 輝彦ならびに太田 充グループリーダーの各氏に種々の議論および助言を戴いた。ここに謝意を表します。

参 考 文 献

- 1) たとえば宮原 昭：日本原子力学会誌， 17， 147 (1975)
- 2) Rovner L. H., Hopkins G. R. : Nucl. Technol., 29, 274 (1976)
- 3) 五明 由夫他：JAERI-M 6432 (1976)
- 4) Cramer S. N., Oblow E. M. : ORNL-TM-4708, Oak Ridge Natl. Lab. (1974); Nucl. Fusion, 15, 339 (1975)
- 5) Cramer S. N., Oblow E. M. : ORNL-TM-4981, Oak Ridge Natl. Lab. (1975)
- 6) 吉川 允二：JAERI-M 5849 (1974)
- 7) 中村 博雄他：JAERI-M 7013 (1977)
- 8) 田村 早苗，吉川 允二他：臨界プラズマ試験装置設計報告書・Ⅰ(第1次設計報告書) (1974)
- 9) 田村 早苗，吉川 允二他：臨界プラズマ試験装置設計報告書・Ⅴ(予備設計仕様書) (1974)
- 10) 中村 博雄：(刊行予定)

4 結 論

今回の実験結果から次の事が示された。

- ① 角孔ハニカムの場合、平板に比べスパッタ比を $1/20 \sim 1/30$ 程度まで減少させることができた。
- ② 各種ハニカム構造によるスパッタ比の違いの結果からは、ハニカム孔占有率の大きいもの程その効果があった。

これらは今後のハニカム構造をさらに発展させて行く上で示唆に富むものである。

謝 辞

実験ならびに本報告執筆にあたって、当研究部炉心工学研究室 曾根 和穂、大塚 英男、山田 礼司、西堂 雅博の各氏ならびに村上 義夫室長、および大型トカマク開発部 清水 正亜、田島 輝彦ならびに太田 充グループリーダーの各氏に種々の議論および助言を戴いた。ここに謝意を表します。

参 考 文 献

- 1) たとえば宮原 昭：日本原子力学会誌， 17， 147 (1975)
- 2) Rovner L. H., Hopkins G. R. : Nucl. Technol., 29, 274 (1976)
- 3) 五明 由夫他：JAERI-M 6432 (1976)
- 4) Cramer S. N., Oblow E. M. : ORNL-TM-4708, Oak Ridge Natl. Lab. (1974); Nucl. Fusion, 15, 339 (1975)
- 5) Cramer S. N., Oblow E. M. : ORNL-TM-4981, Oak Ridge Natl. Lab. (1975)
- 6) 吉川 允二：JAERI-M 5849 (1974)
- 7) 中村 博雄他：JAERI-M 7013 (1977)
- 8) 田村 早苗，吉川 允二他：臨界プラズマ試験装置設計報告書・Ⅱ(第1次設計報告書) (1974)
- 9) 田村 早苗，吉川 允二他：臨界プラズマ試験装置設計報告書・Ⅴ(予備設計仕様書) (1974)
- 10) 中村 博雄：(刊行予定)

- 11) Oechsner H. : Appl. Phys., 8, 185 (1975)
- 12) Gurmin B. M., Ryzhov Yu. A. and Shkanbrn I. I. : Bull. Acad. Sci. USSR, Phys. Ser. (USA) 33, 268 (1977)
- 13) Ziegler J. F., Cuomo J. J. and Roth J. : Appl. Phys. Lett., 30, 268 (1977)