

11. スパッタリング収量の半実験式

岡山理科大学理学部 山村泰道

1. 序論

固体表面に荷電粒子、電子又は光などを照射すると、表面が損耗することはよく知られている。この現象はスパッタリングと呼ばれ、放電による壁の損耗、核融合炉におけるプラズマ対向材料の損耗などの原因となり、プラズマ・壁相互作用に関する重要なテーマのひとつである。スパッタリングが生じるのは、固体表面近傍の原子が粒子線のもつ運動エネルギーの一部を得て真空中に放出されることによる。したがって、一次的には、固体表面で起こる原子衝突現象を取り扱うこととなり、いわば表面近傍における照射損傷の問題であるといえる。スパッタリング現象を理解するためには、表面における原子の結合エネルギー、表面近傍に付与されたエネルギーの大きさ、および付与されたエネルギーがどのようにして原子放出のエネルギーに変換されるかを知る必要がある。

スパッタリングに関する理論としては1969年のシグモンドの理論⁽¹⁾が有名であり、彼の理論によってスパッタリング収量と核的阻止能との関係が明らかになった。しかしながら、プラズマ・壁相互作用の立場から重要な軽イオンのスパッタリングにはシグモンドの公式が適用できない。軽イオンスパッタリングに関しては、その後、リットマーク⁽²⁾や山村ら⁽³⁾によって、それは入射イオンによるカスケードによるのではなく、反射されて出てくるイオンによる表面原子の反跳によるものであり、収量は粒子反射係数に比例することが示された。

プラズマ対向壁の損耗の評価という観点からみれば、すべてのイオン・標的の組み合わせに対して収量の入射エネルギー依存性の知見が得られる簡単な評価公式が必要である。このような要請から1980年代の前半から、スパッタリング収量の実験データの収集とその評価が進み、いくつかのスパッタリング収量の半実験式が提唱された。ドイツのマックス・プランク研究所はいわゆるボダンスキーの公式⁽⁴⁾によってデータを評価し、日本では名古屋大学のプラズマ研究所にスパッタリング収量の実験データの収集の作業グループが発足し、シグモンドの公式と軽イオンスパッタリングの理論を内挿した半実験式、いわゆる松波公式が提唱された⁽⁵⁾。そして、その結果は*Atomic Data and Nucl. Data Tables*に発表された⁽⁵⁾。この松波公式の特徴はイオンと標的原子の質量比と標的の凝集エネルギーがわかればすべてのイオン・標的の組み合わせに対して収量の入射エネルギー依存性が与えられる点にある。昨年、*Atomic Data and Nucl. Data Tables*の出版元であるPergomon Pressから10年経過したので改訂版を出して欲しいという要望があり、この10年間に発表されたデータを付け加えて、半実験式の見直しをした。

なお、最近になって、マックス・プランクのエクシュタイン等(IPP 9/82)⁽⁶⁾やジョージア工科大学のトーマス等(INDC(NDS)-287)⁽⁷⁾によってボダンスキーの公式にそって再評価が発表された。エクシュタイン等は核的阻止能をKr-Cポテンシャルから計算した式を用いた方がよりよい一致が得られると報告している。

2. 半実験式の理論的背景

スパッタリングの機構はFig.1に示すように大きく分けて2つになる。ひとつは比較的重いイオンが入射された場合、左図（スパッタリング機構1）のように表面近傍に発達した衝突カスケードによる場合である。いまひとつは右図（スパッタリング機構2）に示すように軽イオン入射のスパッタリングに主として見られる反射されて出てくるイオンによる表面原子の反跳による機構である。シグモンドは左図の場合に対して、よく発達した衝突カスケード中の反跳原子は多数回の衝突の結果、入射方向の記憶がなくなり、反跳原子の角度分布は等方の仮定が成立する仮説の基にボルツマン方程式を解くことによりスパッタリング収量の公式を導いた⁽¹⁾。シグモンドの理論によればスパッタリング収量は入射イオンによって表面に付与されたエネルギー $F_D(E)$ に比例する。すなはち、

$$Y(E) = \Lambda F_D(E) \tag{1}$$

ここに Λ は入射エネルギー E によらない定数で、通常、ポテンシャルのべき乗近似 $m = 0$ を仮定して求められる。

$$\Lambda = \frac{3}{4\pi^2} \frac{1}{NC_0U_s} = \frac{0.0420}{NU_s} \tag{2}$$

(2) 式において N は数密度で、 U_s は表面の結合エネルギーであり、普通、標的の昇華エネルギーを用いる。一方、表面に付与されたエネルギー $F_D(E)$ は核的阻止断面積 $S_n(E)$ を用いて

$$F_D(E) = a(M_2/M_1)NS_n(E) \tag{3}$$

と表される。ここに、 M_1 、 M_2 は入射イオンと標的原子の質量である。

2.1 低エネルギー重イオンスパッタリング

イオンの入射エネルギーが小さくなると、シグモンドの理論を導く際に仮定されたスパッタリングはよく発達した衝突カスケードによるという仮説が成立しない。運動量保存則から考えれば衝突カスケード中の全運動量は入射イオンの運動量に等しい筈である。入射エネルギーが小さくなり、衝突カスケードが充分に発達しない場合は反跳原子の角度分布は非等方となる。その事に

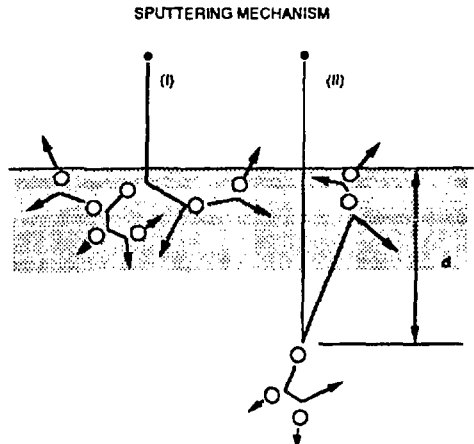


Fig. 1 The sputtering mechanisms of heavy-ion sputtering (I) and light-ion sputtering (II)

よりスパッタリングにしきい値が生まれる。反跳原子の角度分布は非等方性を考慮するとシグモイドの公式は次のように修正される⁽⁸⁾。

$$Y(E) = 0.042 \frac{F_D(E)}{NU_s} \left[1 - \sqrt{\frac{E_{th}}{E}} \right] = 0.042 \frac{\alpha(M_2/M_1)S_n(E)}{U_s} \left[1 - \sqrt{\frac{E_{th}}{E}} \right] \quad (4)$$

ここに、 E_{th} はしきい値を意味し、入射イオンと標的原子の質量比と表面の結合エネルギーの関数である。

2.2 高エネルギー軽イオンスパッタリング

もう一方の極端な例としてFig.1(II)の高エネルギー軽イオンスパッタリングの場合を考える。高エネルギーの粒子反射は一回衝突近似で取り扱える。すなわち、粒子反射係数 R_N は核的阻止断面積と電子的阻止断面積の比に比例する⁽⁹⁾。

$$R_N \sim \frac{M_2 S_n(E)}{M_1 S_e(E)} \quad (5)$$

ここに、 $S_e(E)$ は電子的阻止断面積である。従って、軽イオンスパッタリングは反射された軽イオンによって表面に付与されたエネルギー $F_D(E^*)$ に比例する⁽³⁾。すなわち、

$$Y(E) = 0.042 \frac{F_D(E^*)R_N(E)}{NU_s} \left[1 - \sqrt{\frac{E_{th}}{E}} \right]^s \quad (6)$$

上式のべき指数 s はべき乗ポテンシャルの m の関数であり、 $m=1$ のとき $s=2.8$ と取る。

2.3 半実験式の一般論

通常、我々が扱う系は2.1と2.2で述べた両極端の中間の状況になっていると考えられる。従って、(4)式と(6)式の内挿すればいいことになる。内挿する媒介変数として核的阻止断面積と電子的阻止断面積を考える。(6)式の $F_D(E^*)$ も(3)式のように分解できると仮定すると以下のような半実験式の一般式を得る。

$$Y(E) = 0.042 \frac{\alpha(M_2/M_1)}{U_s} \frac{S_n(E)s_n(\epsilon)}{s_n(\epsilon) + g(Z_2M_1, M_2)s_e(\epsilon)} \left[1 - \sqrt{\frac{E_{th}}{E}} \right]^s \quad (7)$$

ここに、 $s_n(\epsilon)$ と $s_e(\epsilon)$ はそれぞれ還元された核的阻止断面積⁽¹⁰⁾と電子的阻止断面積であり⁽¹¹⁾、 ϵ は還元されたLSSのエネルギーであり、次のように定義されている。

$$\epsilon = \frac{0.03255}{Z_1 Z_2 (Z_1^{2/3} + Z_2^{2/3})^{1/2}} \frac{M_2}{M_1 + M_2} E \quad (8)$$

ここに、 Z_1 、 Z_2 は入射イオンと標的原子の原子番号である。

(7)式の名分母においては高エネルギー軽イオンの場合には核的阻止断面積は電子的阻止断面積に較べて無視でき、(7)式は(6)式と等価な表式となる。一方、低エネルギー重イオンの

場合には、逆に、電子的阻止断面積は核的阻止断面積に較べて無視でき、(7)式は(4)式と等価な表式となる。(7)式をもうすこし整理すると我々はつぎの式を得る。

$$Y(E) = 0.042 \frac{\alpha(M_2/M_1)S_n^*(E)}{U_s} \left[1 - \sqrt{\frac{E_{th}}{E}} \right]^5 \quad (9)$$

ここに、

$$S_n^*(E) = \frac{S_n(E)}{1 + g(Z_2 M_1, M_2) s_e(\epsilon) / s_n(\epsilon)} \quad (10)$$

$\alpha S_n^*(E)$ の物理的な意味は表面に付与されたエネルギーのうちスパッタリングに寄与する有効的な付与エネルギーであると言える。

2. 松波公式

半実験式として要求される条件はできるかぎり少ないパラメータですべてのイオンと標的物質に対して、精度のよい評価値を与えることである。今現在でも、スパッタリング収量の実験値には大きなばらつきがある。(10)式に含まれる $s_n(\epsilon)$ と $s_e(\epsilon)$ はZBLモデル⁽¹²⁾でかなり精度よく評価されるようになってきている。それらを用いることで阻止断面積に伴う不確かさは取り除かれるが膨大なパラメータを用意しなければならない。一方、その他のパラメータがそれに堪えるほど正確には決定できない。従ってここでは $s_n(\epsilon)$ に対してはべき乗近似⁽¹⁰⁾、 $s_e(\epsilon)$ に対してはリンドハートの公式を用いることにする⁽¹¹⁾。すなわち、

$$s_n(\epsilon) = \frac{2\lambda_m}{3-2m} \epsilon^{0.5-m} \quad (11)$$

$$s_e(\epsilon) = k_e \epsilon^{0.5} \quad (12)$$

ここに、 λ_m は m が決めればきまる定数で、 k_e は次式で与えられる。

$$k_e = 0.079 \frac{(M_1 + M_2)^{3/2}}{M_1^{3/2} M_2^{1/2}} \frac{Z_1^{2/3} Z_2^{1/2}}{(Z_1^{2/3} + Z_2^{2/3})^{3/4}} \quad (13)$$

1984年に発表した松波公式においては、(11)式の還元された核的阻止断面積に対して $m=0.5$ を用いた。そして、(9)、(10)式に含まれる他のパラメータは実験値から決定した。松波公式の最終の式を示すと

$$Y(E) = 0.042 \frac{Q(Z_2)\alpha^*(M_2/M_1)}{U_s} \frac{S_n(E)}{1 + 0.35U_s s_e(\epsilon)} \left[1 - \sqrt{\frac{E_{th}}{E}} \right]^{2.8} \quad (14)$$

ここに、核的阻止断面積 $S_n(E)$ として次式を採用した。

$$S_n(E) = \frac{8.478Z_1Z_2}{(Z_1^{2/3} + Z_2^{2/3})^{1/2}} \frac{M_1}{M_1 + M_2} s^{TF}(\epsilon) \quad (15)$$

$$s^{TF}(\epsilon) = \frac{3.441\epsilon^{1/2} \ln(\epsilon + 2.718)}{1 + 6.35\epsilon^{1/2} - 1.708\epsilon + 6.882\epsilon^{3/2}} \quad (16)$$

(14) 式において $Q(Z_2)$ というパラメーターが含まれている。このパラメーターの物理的な背景は (2) 式の Λ の計算のとき、表面近傍を動いている反跳原子の阻止能の計算にべき乗近似の $m = 0$ を用いたが、(2) 式において C_0 とあるのがそれであるが、実際はスパッターに寄与する反跳原子は表面の結合エネルギーのオーダーのエネルギーをもっているのので、すべての標的物質に対してコンスタントではありえない。また、(8) 式の LSS の ϵ の定義から分かるように標的物質の原子番号が小さくなると同じエネルギーでも ϵ は大きくなる。すなわち、(2) 式において C_0 という定数を用いた補正項として $Q(Z_2)$ というパラメーターが必要になる。 Q の Z_2 依存性が表面の結合エネルギーのそれと似たような振る舞いをするのはこういう事情による。

(14) 式におけるパラメーター α^* としきい値 E_{th} は次のような質量比 M_2/M_1 の関数で与えられている。

$$\alpha^* = 0.08 + 0.164(M_2/M_1)^{0.4} + 0.0145(M_2/M_1)^{1.29} \quad (17)$$

$$\frac{E_{th}}{U_s} = 1.9 + 3.8(M_2/M_1)^{1/4} + 0.0135(M_2/M_1)^{1.24} \quad (18)$$

4. データ収集と新しい半実験式

1984年に *Atomic Data and Nucl. Data Tables* に発表した段階では1983年までのデータを収集した。その後出版された論文、約30篇を新たに追加した。論文数としては多くはないが低Z材料のBe、B、Cなどの実験データ、また、軽イオンスパッタリングのデータがマックス・プランク（ガルヒン）研究所を中心に報告されている。Table 1 は収集されたスパッタリング・データのイオン・標的原子の組み合わせの一覧である。数字は文献の数である。末尾に収集された文献の一覧を載せてある。

より充実した軽イオンスパッタリングのデータのベスト・フィッティングをとうして松波公式を微修正した。まず、(11) 式における還元された核的阻止断面積に対して $m = 0.3$ を採用し、(14) 式の $S_n^*(E)$ に含まれる $0.35U_s$ を標的原子に対して微調整し新しい半実験式を以下のように決定した。

$$Y(E) = 0.042 \frac{Q(Z_2)\alpha^*(M_2/M_1)}{U_s} \frac{S_n(E)}{1 + g(M_1, Z_2)e^{0.3}} \left[1 - \sqrt{\frac{E_{th}}{E}} \right]^{2.8} \quad (19)$$

ここに

$$g(M_1, Z_2) = \frac{W(Z_2)k_e}{1 + (M_1/7)^3} \tag{20}$$

ここで W は松波公式において $0.35U_s$ に相当する量であり、殆んどの場合 $W = 0.35U_s$ であるが、標的によってずれがみられる。また、パラメーター α^* としきい値 E_{th} は次のような質量比 M_2/M_1 の関数で与えられている。ここに、しきい値 E_{th} の評価では山村・ボダンスキーの理論⁽¹³⁾をもとに求めた。

$$\begin{aligned} \alpha^* &= 0.249 + 0.164(M_2/M_1)^{0.56} + 0.0145(M_2/M_1)^{1.5} & M_1 \geq M_2 \\ &= 0.088(M_2/M_1)^{0.15} + 0.165(M_2/M_1) & M_1 \leq M_2 \end{aligned} \tag{21}$$

$$\begin{aligned} \frac{E_{th}}{U_s} &= \left(\frac{4}{3}\right)^6 \frac{1}{\gamma} & M_1 \geq M_2 \\ &= \frac{1}{\gamma} [1 + 4.62(M_2/M_1)] & M_1 \leq M_2 \end{aligned} \tag{22}$$

(22) 式に含まれる γ は弾性衝突の際のエネルギー移行ファクターであり、次式で与えられる。

$$\gamma = \frac{4M_1M_2}{(M_1 + M_2)^2} \tag{23}$$

新しい $Q(Z_2)$ の値と $W(Z_2)$ は表面結合エネルギー U_s と共に Table 2 に載せてある。核的阻止断面積 $S_n(E)$ は松波公式と同じである。Fig.2 に α^* の最適値と Fig.3 に E_{th} の最適値をプロットしてある。

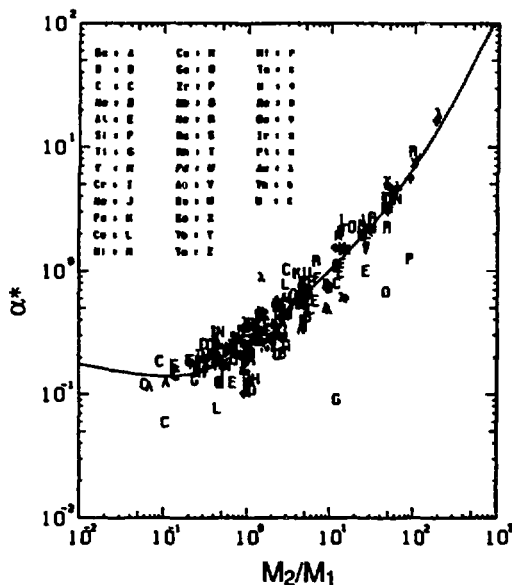


Fig. 2 Plots of the best-fit α^* against M_2/M_1

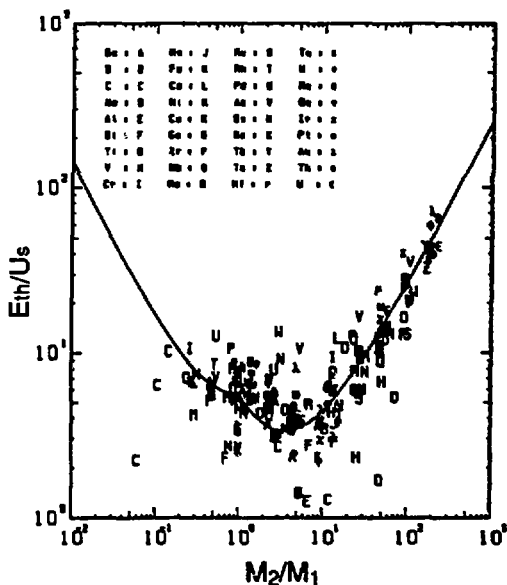


Fig.3 Plots of the relative sputtering threshold E_{th}/U_s

図における実線は(21)式と(22)式に対応している。Fig. 4からFig. 35までに実験データと新しい半実験式(実線)と旧松波公式(破線)をプロットしてある。イオン、ターゲットの組み合わせは総数250以上であるが、軽イオンスパッタリングを中心に抜粋したものである。

5. むすび

1984年スパッタリング収量のエネルギー依存性の半実験式を提案して以来、ちょうど10年が経過した。その間、低Z材料のBe、B、Cなどの実験データ、また、軽イオンスパッタリングのデータがより充実した。それらの実験データをデータ・ベースに付け加えるとともに新しい半実験式を提案した。軽イオンスパッタリングについてはよりよい一致が得られた。

謝辞

一連のスパッタリング収量の実験データの収集に関しては岡山理科大学の学生諸君の多年にわたる努力の集積であり、ここに深謝致します。また、文献収集にあたっては核融合研の俵博之先生にお世話になりました。

参考文献

- 1) P.Sigmund, Phys. Rev., **184** 383 (1969).
- 2) U.Litmark and S.Fedder, Nucl. Instr. Meth. **194**, 607 (1982).
- 3) Y.Yamamura, N. Matsunami and N. Itoh, Rad. Eff. **71**, 65 (1983).
- 4) J. Bohdansky, Nucl. Instr. Meth. B2, **537** (1984)
- 5) N.Matsunami, Y.Yamamura, Y.Itikawa, N.Itoh, Y.Kazumata, S.Miyagawa, K.Morita, R.Shimizu and H.Tawara, At. Data Nucl. Data Tables **31**, 1 (1984).
- 6) W. Eckstein, C. Garcia-Rosales, J. Roth and W. Ottenberger, IPP 9/82 (1993)
- 7) E.W. Thomas, R.K. Janev, J. Botero, J.J. Smith and Yanghui Qiu, INDC(NDS)-287 (1993).
- 8) Y.Yamamura, Radiat.Eff., **55**, 49 (1981).
- 9) J. Vukanic and P. Sigmund, Appl. Phys. **11**, 265 (1976)
- 10) J.Lindhard, V.Nielson and M.Scharff, Mat. Fys. Medd. Dan. Vid. Selsk., **36** no.10 (1968)
- 11) J.Lindhard and M.Scharff, Phys. Rev., **124** 128 (1961).
- 12) J.F. Ziegler, J.P. Biersack and U. Littmark, "The stopping and range of ions in solids" (Pergamon press, New York, 1985).
- 13) Y.Yamamura and J.Bohdansky, Vacuum **35** 561 (1985).

Table 1 Ion-target combinations of which was drawn by graphs

Ion Target	H	D	³ He	He	Li	C	N	O	F	Ne	Na	Si	P	S	Cl	Ar	K	Ni	Zn	As	Se	Br	Kr	Cd	Sb	Te	Xe	Cs	Hg	Tl	Pb	Bi	+	
	1	1	2	2	3	6	7	8	9	10	11	14	15	16	17	18	19	28	30	33	34	35	36	48	51	52	54	55	80	81	82	83		
Be	4	4		6				1		2						2							2				2							
B	5	1	1	2																														1
C	6	8	5	7				2		2						4							4	1			3		3					2
Al	13	2	3	4						2						8							2			1		4						3
Si	14	1	1	3				1	1	3						11							4			3		2		1				
Ti	22	2	4	8						1						6							1	1		1		6						
V	23	1	1	6						2						4							2			2		3						
Cr	24			1						1						4							2			1		5						2
Mn	25																1						1			1								
Fe	26	3	3	3			2			3						5							4			4	1	7			1			
Co	27			1						1						4							3			3	1	2	4					2
Ni	28	5	1	6			1	1		5						12							7			6		7						5
Cu	29	4	4	6			4			10	2	1	2	2	2	27	2	2	2				12	3		13	3	7	2	3			7	
Ge	32			1						1						5							3			2		1						1
Zr	40	1	1	3	1					1						5							2	1		1		3						
Nb	41	2	3	3	1					2						7							3			2	1	3						2
Mo	42	7	3	1	10			1	1	4						10							4	1		5	1	7		1				2
Ru	44									1						1							1			1								
Rh	45			1						1						1							2			1		3						
Pd	46			1						2						3							2			2		3						
Ag	47	4	3	4			2			5			1		1	15							7		1	1	7		6			3	4	
Sn	50									1						4							1			1								2
Tb	65															1																		
Tm	69															1																		
Hf	72			1						1						2								2			1		1					
Ta	73	3	3	5						3						8							4	1		3		7						
W	74	3	3	5		1	1	6		6						10	1						7	1		8	1	6		1				3
Re	75									1						2							1			1		2						
Os	76			1						1						1							1			1								
Ir	77			1						1						1							2			1		2						
Pt	78			1						3						5							3		1	3		5				1		
Au	79	4	3	2	4		1			7						27							5		1	8		4			2			5
Th	90			1						1						3							1			1		1						
U	92			1						1						2							1			1		3						

+ self-sputtering

Table 2 The surface binding energies U_s and best-fit values of $Q(Z_2)$ and $W(Z_2)$

target	U_s (eV)	Q	W	target	U_s (eV)	Q	W
Be	3.32	1.66	3.49	Ru	6.74	1.31	2.36
B	5.77	3.27	6.35	Rh	5.75	1.14	2.59
C	7.37	2.5	3.69	Pd	3.89	0.85	1.17
Al	3.39	1.0	3.73	Ag	2.95	1.08	1.03
Si	4.63	0.66	1.76	Sn	3.14	0.47	1.10
Ti	4.85	0.54	3.06	Tb	4.05	1.0	1.43
V	5.31	0.72	2.66	Tm	2.42	1.0	0.85
Cr	4.10	0.93	1.44	Hf	6.44	0.65	6.05
Mn	2.92	0.54	1.02	Ta	8.1	0.56	3.08
Fe	4.28	0.75	1.20	W	8.9	0.72	2.14
Co	4.39	0.80	1.54	Re	8.03	1.03	2.81
Ni	4.44	0.94	1.33	Os	8.17	1.11	2.86
Cu	3.49	1.0	0.73	Ir	6.94	0.96	9.92
Ge	3.85	0.59	2.45	Pt	5.84	1.03	3.21
Zr	6.25	0.54	3.87	Au	3.81	1.08	1.64
Nb	7.57	0.93	2.65	Th	6.2	0.63	3.72
Mo	6.82	0.77	3.41	U	5.55	0.66	4.61

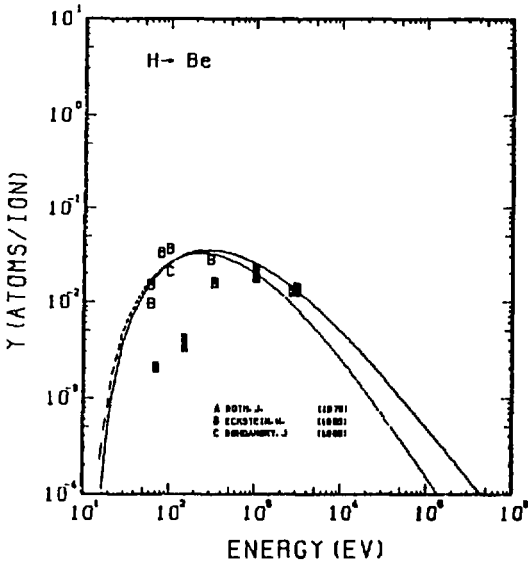


FIG. 4 ENERGY DEPENDENCE OF THE SPUTTERING YIELD OF BE WITH H⁺. A= 8.940, Q= 1.660, U_s= 3.32eV, W= 0.35Us.

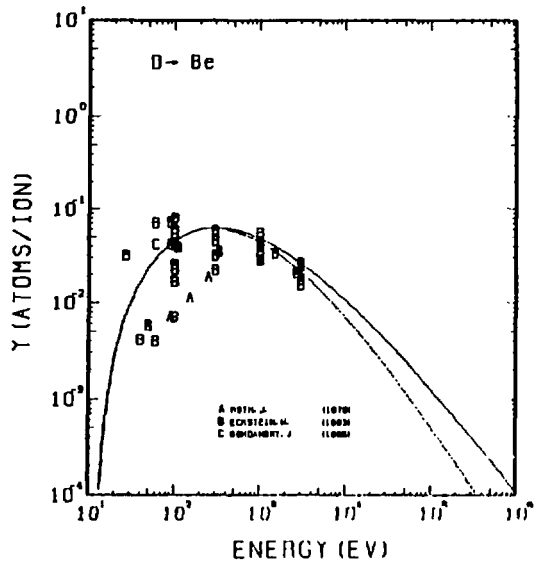


FIG. 5 ENERGY DEPENDENCE OF THE SPUTTERING YIELD OF BE WITH D⁺. A= 4.475, Q= 1.660, U_s= 3.32eV, W= 0.35Us.

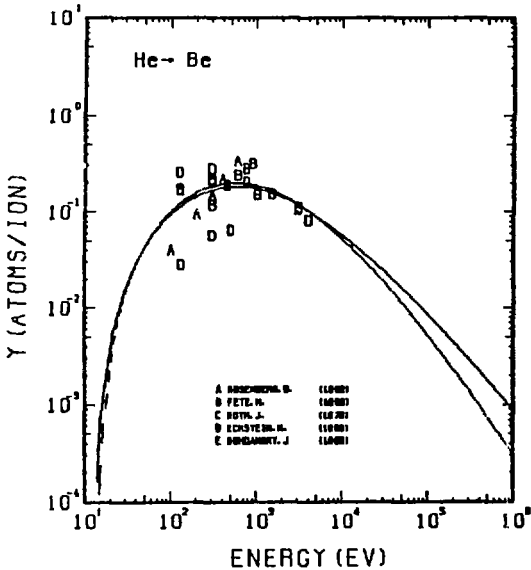


FIG. 6 ENERGY DEPENDENCE OF THE SPUTTERING YIELD OF BE WITH He⁺. A= 2.251, Q= 1.660, U_s= 3.32eV, W= 0.35Us.

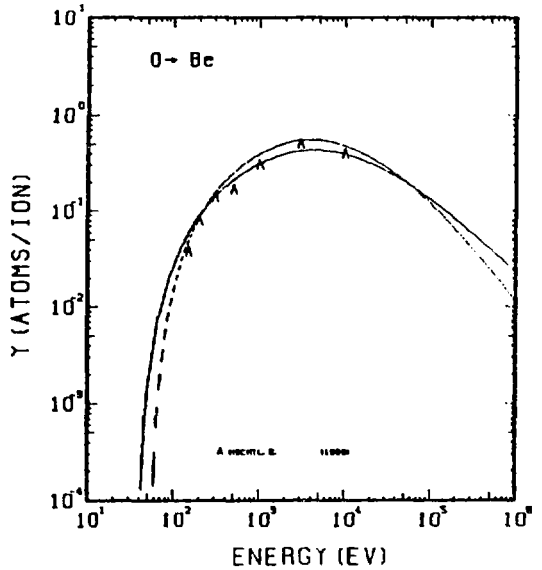


FIG. 7 ENERGY DEPENDENCE OF THE SPUTTERING YIELD OF BE WITH O⁺. A= 0.563, Q= 1.660, U_s= 5.98eV, W= 0.35Us. THE BEST-FIT SURFACE BINDING ENERGY IS USED.

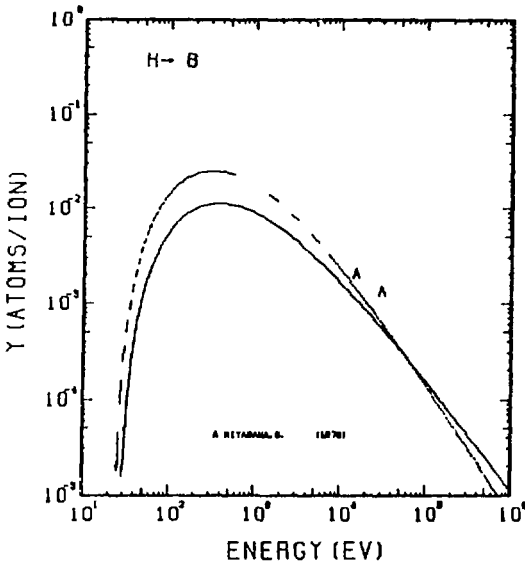


FIG. 8 ENERGY DEPENDENCE OF THE SPUTTERING YIELD OF B WITH H⁺.
A = 10.724, B = 3.270, U_s = 5.77eV,
W = 1.06Us.

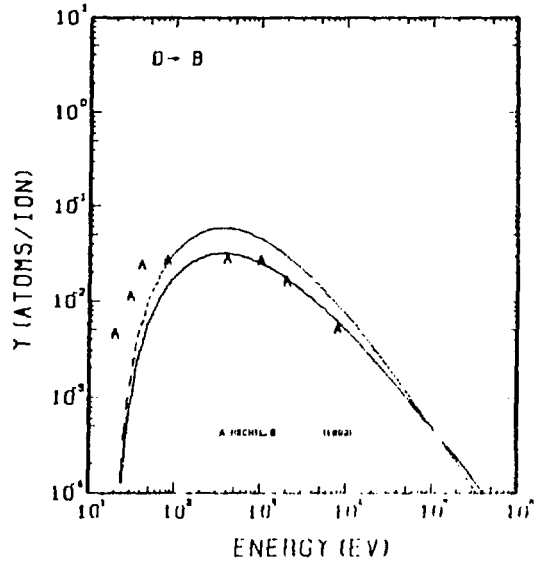


FIG. 9 ENERGY DEPENDENCE OF THE SPUTTERING YIELD OF B WITH O⁺.
A = 5.367, B = 3.270, U_s = 5.77eV,
W = 1.06Us.

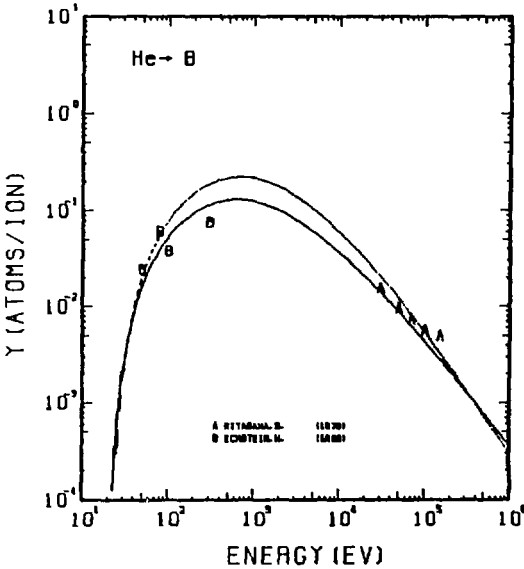


FIG. 10 ENERGY DEPENDENCE OF THE SPUTTERING YIELD OF B WITH He⁺.
A = 2.700, B = 3.270, U_s = 5.77eV,
W = 1.06Us.

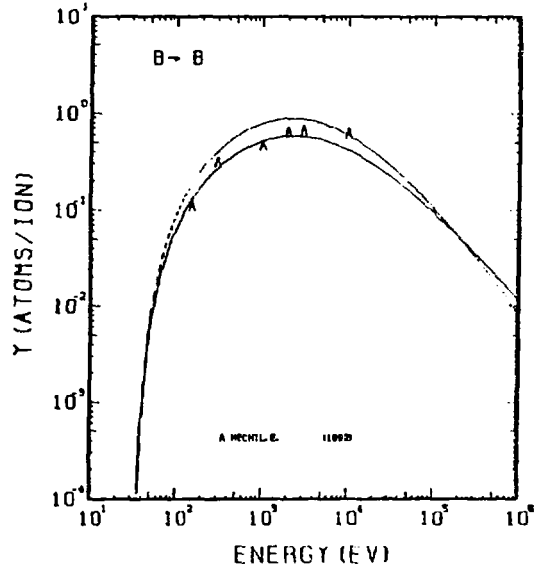


FIG. 11 ENERGY DEPENDENCE OF THE SPUTTERING YIELD OF B WITH B⁺.
A = 1.000, B = 3.270, U_s = 5.77eV,
W = 1.06Us.

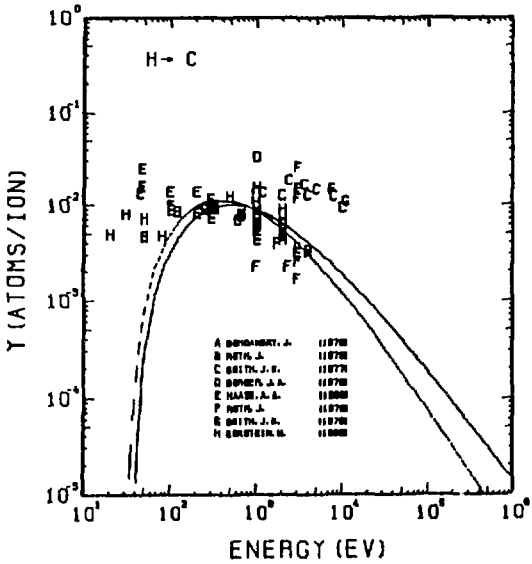


FIG. 12 ENERGY DEPENDENCE OF THE SPUTTERING YIELD OF C WITH H⁺. A= 11.915, Q= 2.500, U_s= 7.37EV, W= 0.50US. EXPERIMENTAL DATA FOR DIFFERENT KINDS OF GRAPHITE ARE INCLUDED. ONLY DATA MEASURED AT TEMPERATUR<200C ARE PLOTTED. THE CHEMICAL EROSION IS FOUND EVEN AT ROOM TEMPERATURE.

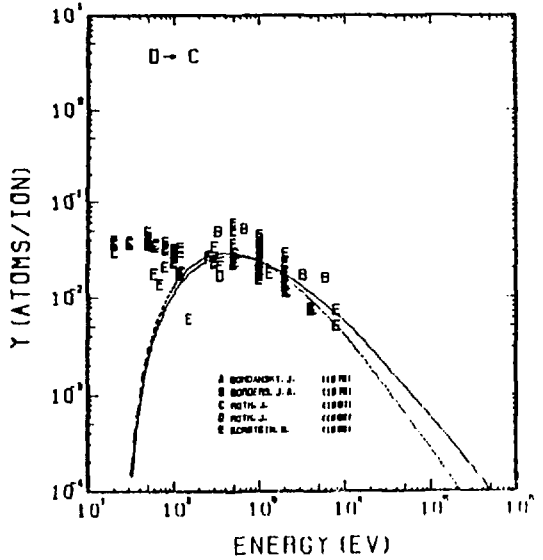


FIG. 13 ENERGY DEPENDENCE OF THE SPUTTERING YIELD OF C WITH D⁺. A= 5.963, Q= 2.500, U_s= 7.37EV, W= 0.50US. EXPERIMENTAL DATA FOR DIFFERENT KINDS OF GRAPHITE ARE INCLUDED. ONLY DATA MEASURED AT TEMPERATUR<200C ARE PLOTTED. THE CHEMICAL EROSION IS FOUND EVEN AT ROOM TEMPERATURE.

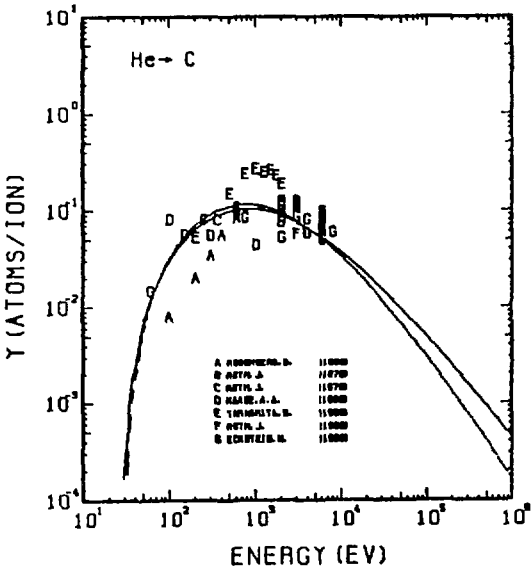


FIG. 14 ENERGY DEPENDENCE OF THE SPUTTERING YIELD OF C WITH He⁺. A= 3.000, Q= 2.500, U_s= 7.37EV, W= 0.50US. EXPERIMENTAL DATA FOR DIFFERENT KINDS OF GRAPHITE ARE INCLUDED.

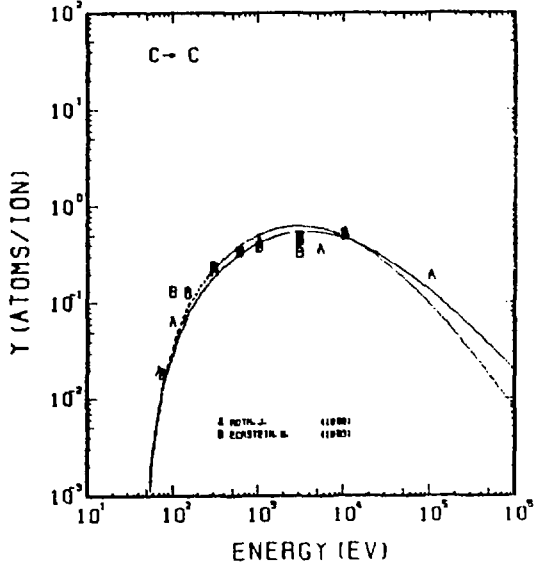


FIG. 15 ENERGY DEPENDENCE OF THE SPUTTERING YIELD OF C WITH C⁺. A= 1.000, Q= 2.500, U_s= 7.37EV, W= 0.50US. EXPERIMENTAL DATA FOR DIFFERENT KINDS OF GRAPHITE ARE INCLUDED.

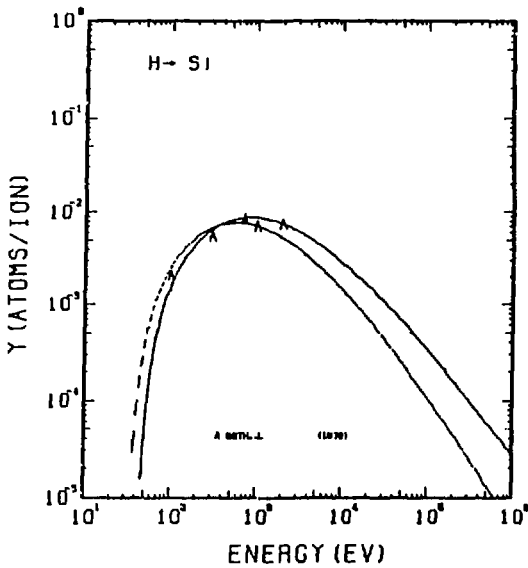


FIG. 16 ENERGY DEPENDENCE OF THE SPUTTERING YIELD OF SI WITH H⁺.
 A= 27.857, Q= 0.660, U_s= 4.63eV,
 W= 0.38U_s.

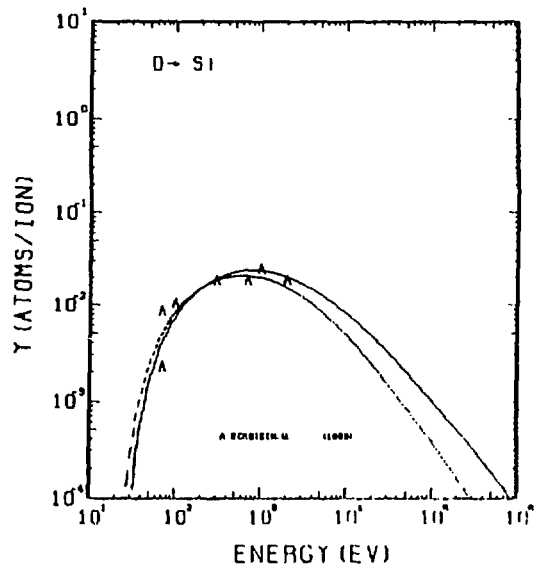


FIG. 17 ENERGY DEPENDENCE OF THE SPUTTERING YIELD OF SI WITH O⁺.
 A= 13.942, Q= 0.660, U_s= 4.63eV,
 W= 0.38U_s.

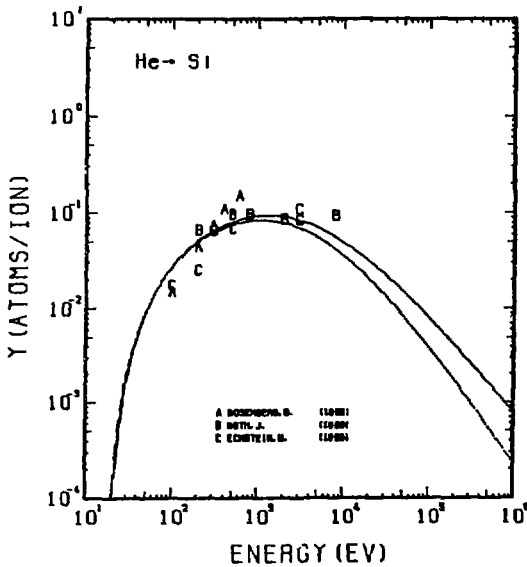


FIG. 18 ENERGY DEPENDENCE OF THE SPUTTERING YIELD OF SI WITH HE⁺.
 A= 7.015, Q= 0.660, U_s= 4.63eV,
 W= 0.38U_s.

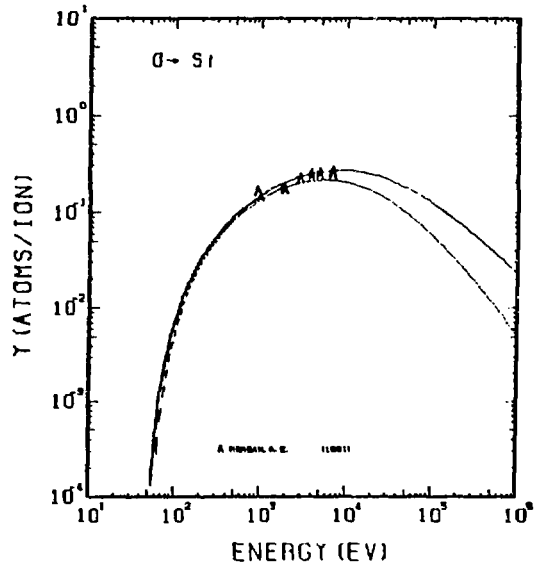


FIG. 19 ENERGY DEPENDENCE OF THE SPUTTERING YIELD OF SI WITH O⁺.
 A= 1.755, Q= 0.660, U_s= 11.57eV,
 W= 0.38U_s. THE BEST-FIT SURFACE BINDING ENERGY IS USED.

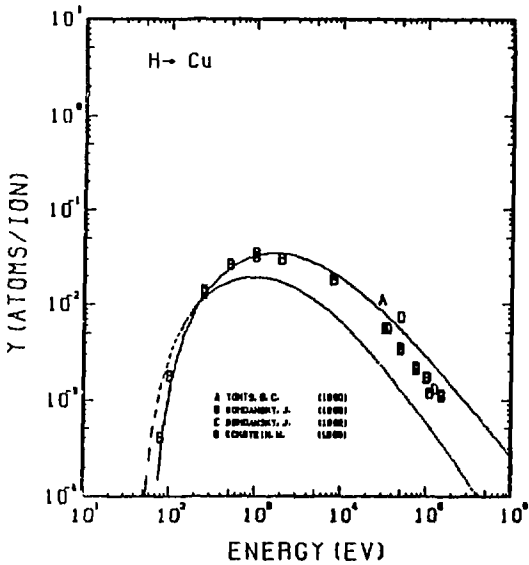


FIG. 20 ENERGY DEPENDENCE OF THE SPUTTERING YIELD OF CU WITH H⁺.
A= 63.046, Q= 1.000, U_s= 3.49EV,
W= 0.21Us.

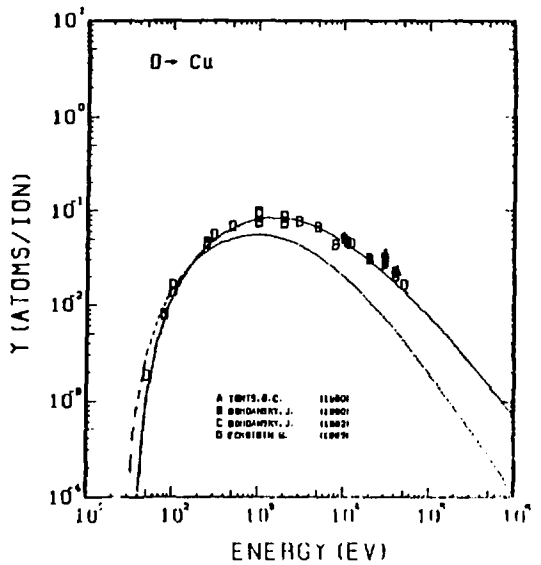


FIG. 21 ENERGY DEPENDENCE OF THE SPUTTERING YIELD OF CU WITH D⁺.
A= 31.554, Q= 1.000, U_s= 3.49EV,
W= 0.21Us.

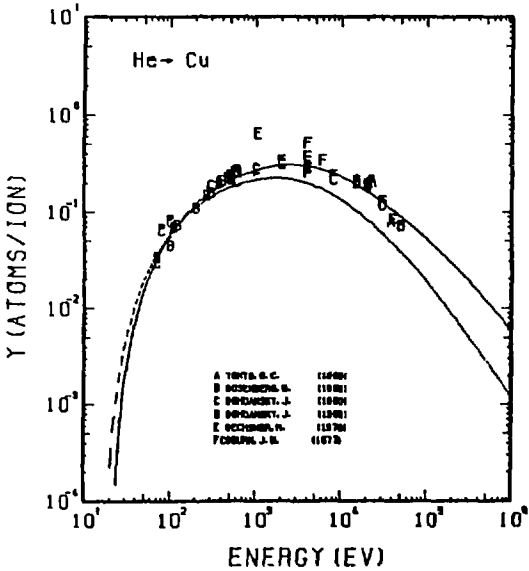


FIG. 22 ENERGY DEPENDENCE OF THE SPUTTERING YIELD OF CU WITH HE⁺.
A= 15.876, Q= 1.000, U_s= 3.49EV,
W= 0.21Us.

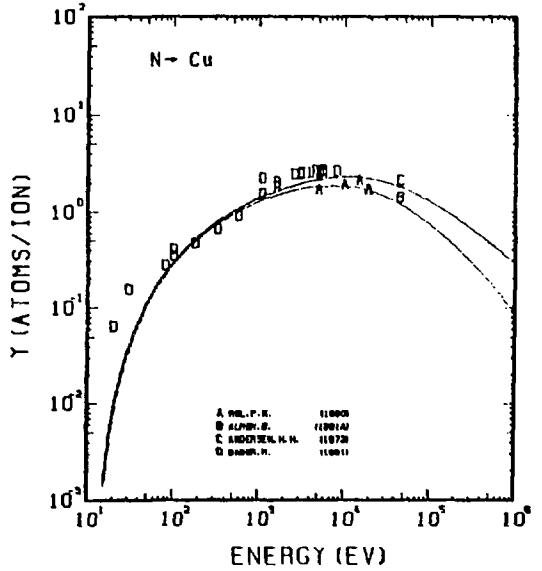


FIG. 23 ENERGY DEPENDENCE OF THE SPUTTERING YIELD OF CU WITH N⁺.
A= 4.536, Q= 1.000, U_s= 3.49EV,
W= 0.21Us. THE BEST-FIT SURFACE
BINDING ENERGY IS USED.

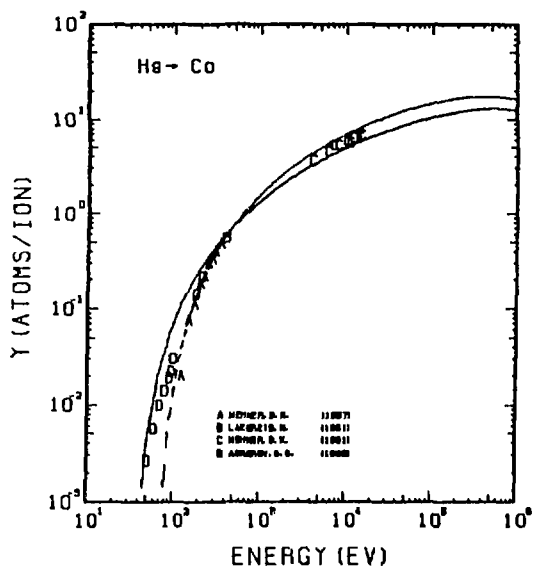


FIG. 24 ENERGY DEPENDENCE OF THE SPUTTERING YIELD OF CO WITH He⁺.
 A= 0.294, O= 0.800, Us= 4.39eV,
 W= 0.35Us.

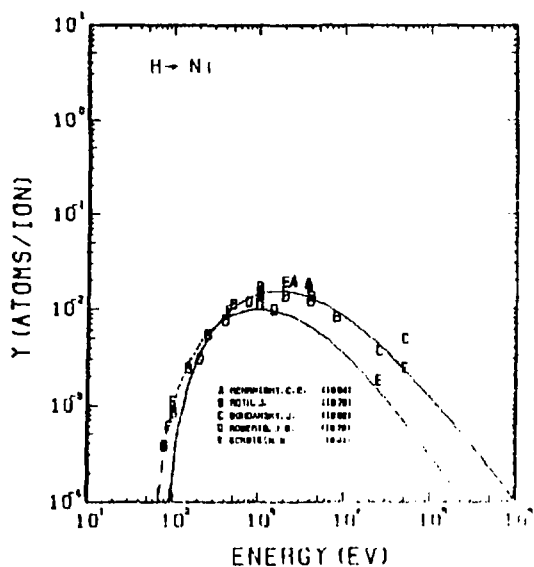


FIG. 25 ENERGY DEPENDENCE OF THE SPUTTERING YIELD OF NI WITH H⁺.
 A= 58.244, O= 0.940, Us= 4.44eV,
 W= 0.30Us.

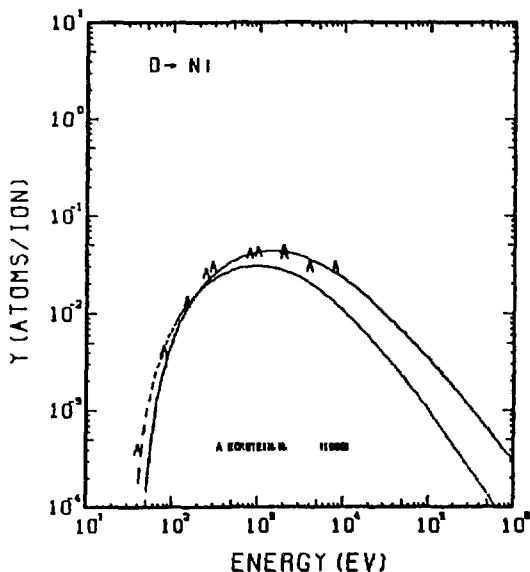


FIG. 26 ENERGY DEPENDENCE OF THE SPUTTERING YIELD OF NI WITH D⁺.
 A= 29.151, O= 0.940, Us= 4.44eV,
 W= 0.30Us.

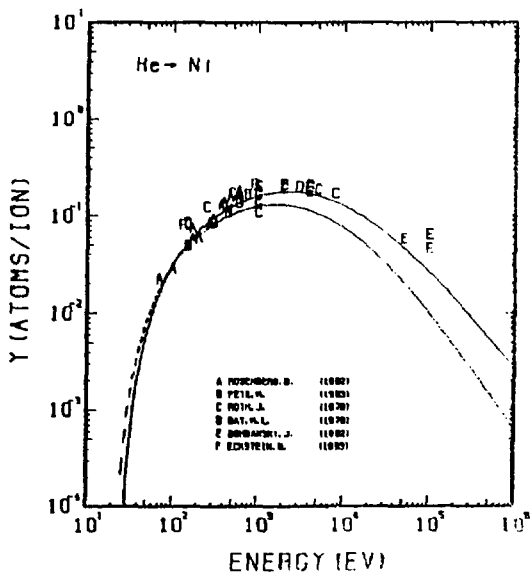


FIG. 27 ENERGY DEPENDENCE OF THE SPUTTERING YIELD OF NI WITH He⁺.
 A= 14.666, O= 0.940, Us= 4.44eV,
 W= 0.30Us.

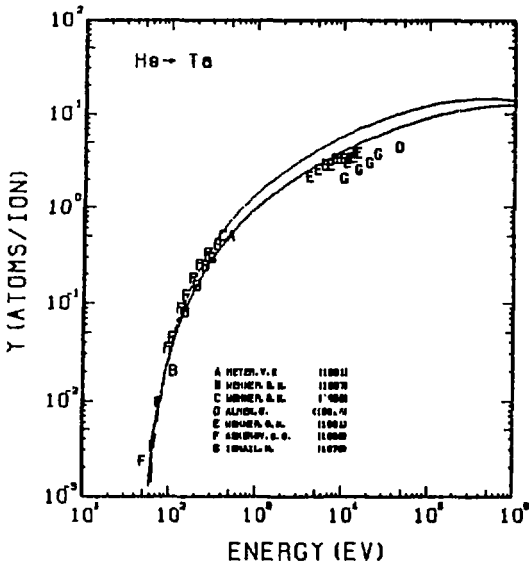


FIG. 28 ENERGY DEPENDENCE OF THE SPUTTERING YIELD OF TA WITH He^+ .
 A= 0.902, Q= 0.560, Us= 8.10eV,
 W= 0.38Us.

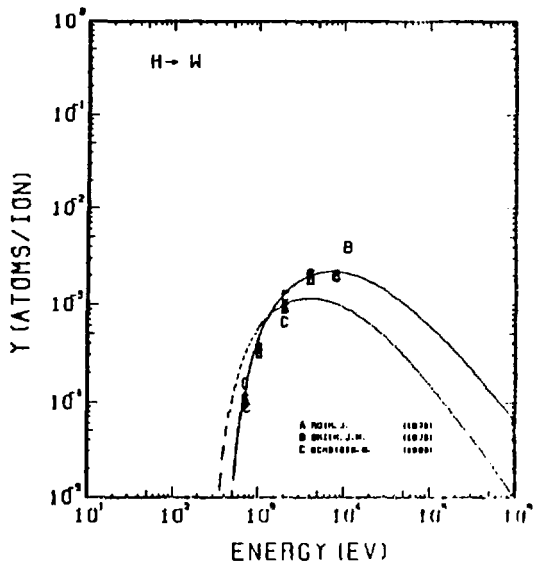


FIG. 29 ENERGY DEPENDENCE OF THE SPUTTERING YIELD OF W WITH H^+ .
 A= 182.341, Q= 0.720, Us= 8.90eV,
 W= 0.24Us.

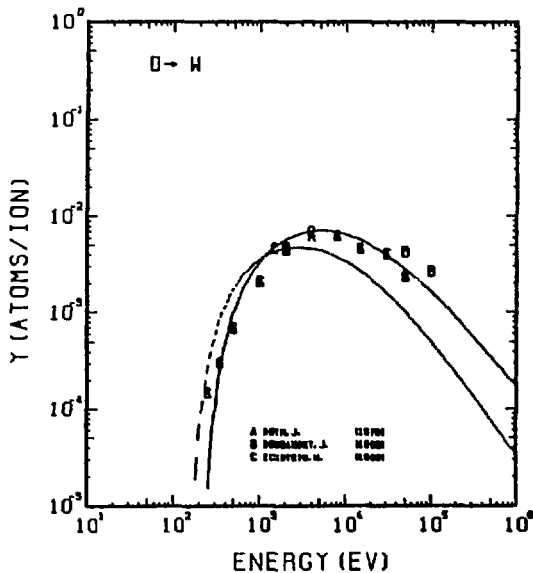


FIG. 30 ENERGY DEPENDENCE OF THE SPUTTERING YIELD OF W WITH D^+ .
 A= 91.261, Q= 0.720, Us= 8.90eV,
 W= 0.24Us.

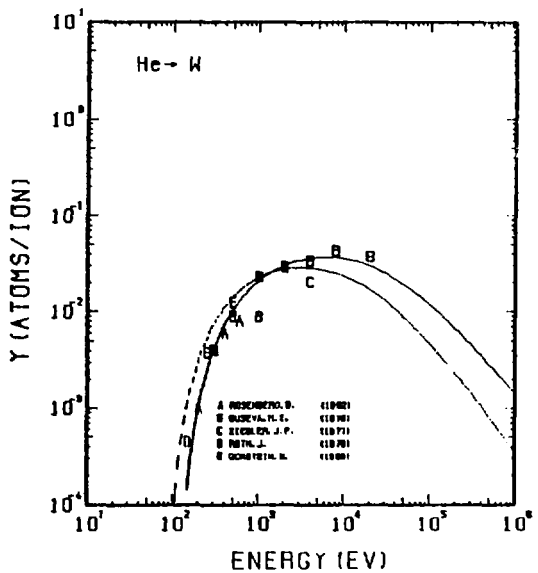


FIG. 31 ENERGY DEPENDENCE OF THE SPUTTERING YIELD OF W WITH He^+ .
 A= 45.916, Q= 0.720, Us= 8.90eV,
 W= 0.24Us.

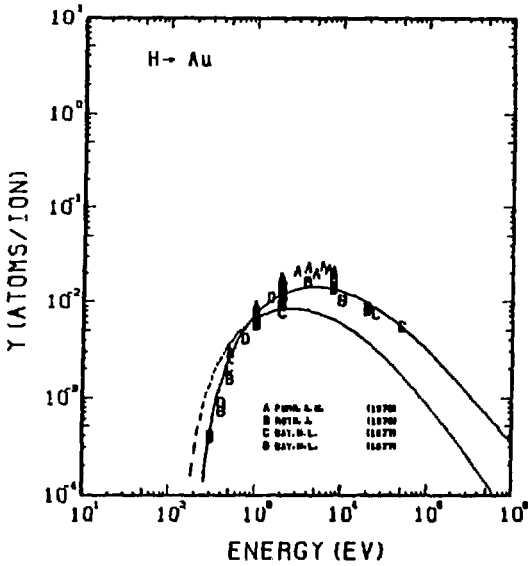


FIG. 32 ENERGY DEPENDENCE OF THE SPUTTERING YIELD OF AU WITH H⁺.
 A= 195.337, Q= 1.080, U_s= 3.81eV,
 W= 0.43Us.

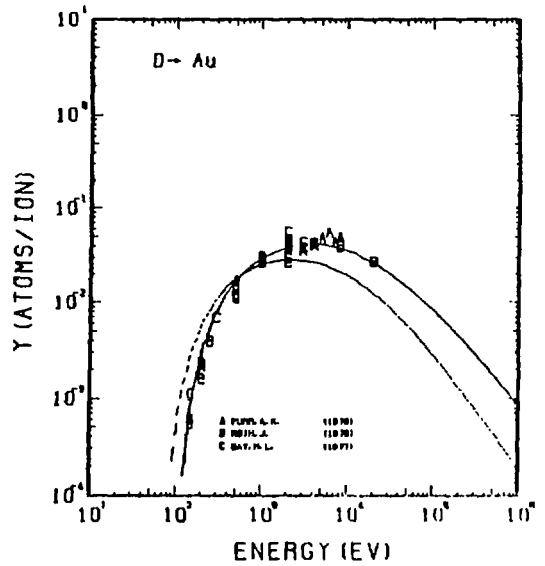


FIG. 33 ENERGY DEPENDENCE OF THE SPUTTERING YIELD OF AU WITH D⁺.
 A= 97.766, Q= 1.080, U_s= 3.81eV,
 W= 0.43Us.

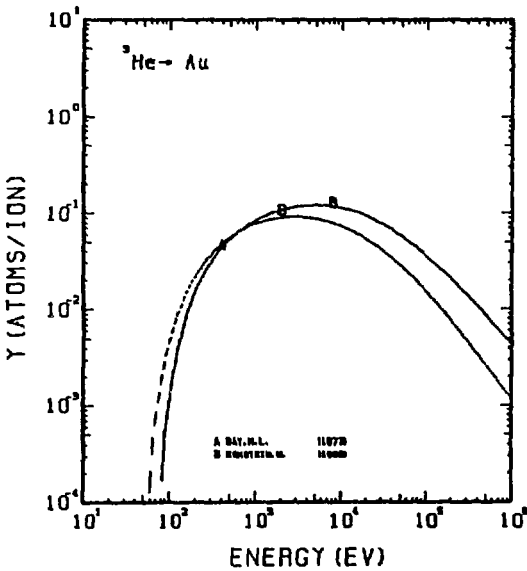


FIG. 34 ENERGY DEPENDENCE OF THE SPUTTERING YIELD OF AU WITH ³He⁺.
 A= 65.285, Q= 1.080, U_s= 3.81eV,
 W= 0.43Us.

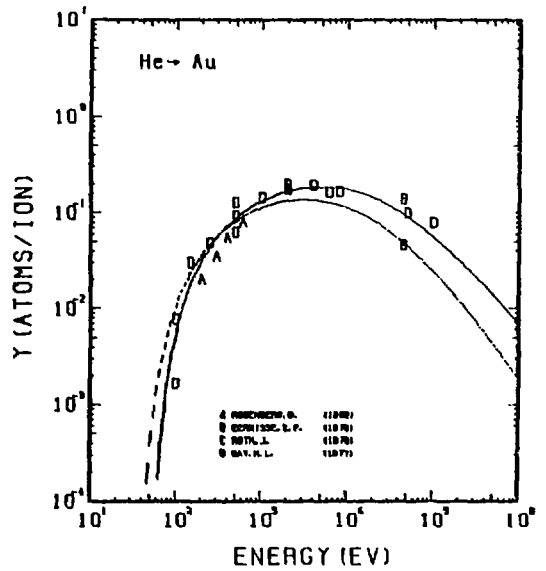


FIG. 35 ENERGY DEPENDENCE OF THE SPUTTERING YIELD OF AU WITH He⁺.
 A= 49.188, Q= 1.080, U_s= 3.81eV,
 W= 0.43Us.

収集された文献

1. V. K.Mayer and A.Guzenterschulze ; Z.Physik, 71, 19 (1931)
2. F. Keywell ; Phys.Rev, 97, 1611 (1955)
3. G.K.Weohner ; Phys.Rev, 102, 690 (1956)
4. G.K.Weohner ; Phys.Rev, 108, 35 (1957)
5. C.D.O'Braian, A.Linder, and W. J.Moore ; J.Chem.Phys, 29, 3 (1958)
6. G.K.Weohner ; Phys.Rev, 112, 1120 (1958)
7. W.F.Brawn. Jr.; Pysica, 24, 692 (1958)
8. G.K.Weohner ; J.Appl.Phys, 30, 1762 (1959)
9. O.C.Yonts, and D.E.Harrison. Jr. ; ORNL-2802 (1959)
10. O.C.Yonts, C.E.Normand, and D.E.Harrison. Jr.; J.Appl.Phys, 31, 447 (1960)
11. O.C.Yonts and D.E.Harrison. Jr.; J.Appl.Phys, 31, 1583 (1960)
12. F.Grolund, and W.J.Moore ; J.Chem.Phys, 32, 1540 (1960)
13. M.I.Guseva ; Soviet.Phys-Solid.State, 1, 1410 (1960)
14. P.K.Rol, J.M.Fluit, and J.Kistemaker ; Physica, 26, 1000 (1960)
15. R.V.Stuart, and G.K.Weohner ; Phys.Rev.Lett, 4, 409 (1960)
16. R.V.Stuart, and G.K.Weohner ; Trans.7th.National.Vac.Symp, p290 (1960)
17. O.Almen, and G.Bruce ; Nucl.Instr.Meth, 11, 257 (1961)
18. O.Almen, and G.Bruce ; Nucl.Instr.Meth, 11, 279 (1961)
19. C.Fert, N.Colombie, B.Fagot, and P.V.Chuong ; Ionic.Bombard.Bellevue p67 (1961)
20. N.Laegreid, and G.K.Weohner; J.Appl.Phys, 32, 365 (1961)
21. B.Perovic, and B.Cobic ; Ion.Phenom.Gases.Munich, 1165 (1961)
22. G.K.Weohner, and D.Rosenbarg ; J.Appl.Phys, 32, 887 (1961)
23. G.K.Weohner, R.V.Sturt, and D.Rosenbarg ; General.Mills.Report No.2243 (1961)
24. M.Bader, F.C.Witteborn, and T.W.Sonuse ; NASA.Tech.Report, R105 (1961)
25. H.Fetz, and H.Oechsner ; Ion.Phenom.Gases, Paris, Vol.II, p 39 (1961)
26. H.Patterson, and D.H.Tomlin ; Proc.Roy.Soc.London, A265, 474 (1962)
27. D.Rosenbarg, and G.K.Weohner ; J.Appl.Phys, 33, 1842 (1962)
28. R.V.Stuart, and G.K.Weohner ; J.Appl.Phys, 33, 2345 (1962)
30. M.I.Guseva ; Radio.Eng.Electron.Phys.(USSR), 7, 1563 (1962)
31. A.L.Southern, W.R.Wills, and M.T.Robinson ; J.Appl.Phys, 34, 153 (1963)
32. N.Colombie ; Thesis.Of.Univ.Toulouse (1964)
33. C.E.Kenknigh, and G.K.Weohner ; J.Appl.Phys, 35, 322 (1964)
34. C.E.Ramer, M.A.Narashimham, H.K.Reynolds, and J.C.Allred ; J.Appl.Phys, 35, 1673 (1964)
35. U.A.Arifov ; Sov.Phys.-Doklady, 9, 214 (1964)
36. Cheney,K.B, and E.T.Pitkin ; J.Appl.Phys, 36, 3542 (1965)
37. G.Dupp, and A.Scharmann ; Z.Physik, 192, 284 (1966)
38. C.H.Weijnsfeld ; Thesis.Of.Univ.Utrecht (1966)
39. C.H.Weijnsfeld ; Philip.Research.Report, Supplement.No.2 (1967)
40. O.K.Kurbatov ; Sov.Phys.-Techn.Phys, 12, 1328 (1968)
41. B.M.Gurmin, T.P.Martynenko, and Tu.A.Ryzhov ; Sov.Phys-Solid.State, 10, 324 (1968)
42. T.P.Martynenko ; Sov.Phys-Solid.State, 9, 2232 (1968)

43. S.G.Askerov, and L.A.Scna ; Soviet.Phys.Solid.State, 11, 1288 (1969)
44. R.Berisch, R.Weissmenn ; Phys.Lett.30A, 506 (1969)
45. G.Betz, R.Dobrozemaky, F.P.Veshbock, and H.Wolke ; Ioniz.Phenom.Gases, Bucharest p91 (1969)
46. A.Fontell, and E.Arminen ; Can.J.Phys, 47, 2405 (1969)
47. W.H.Hayward, and A.R.Wolter ; J.Appl.Phys, 40, 2911 (1969)
48. G.Holmen, and O.Almen ; Arkiv.for.Physik, 40, 429 (1969)
49. V.K.Koshkin, J.A.Rysov, I.I.Shkarban, and B.M.Gourmin ; Proc.9th. Phenon. Ion. Phenom. Gases, Bucharest, p92 (1969)
50. T.P.Martynenko ; Soviet.Phys.Solid.State,10, 2274 (1969)
51. T.Nenadovic, and Z.Jurela ; Prc. 9th. Phenon.Ioniz.Phenom.Gases, Bucharest, p90 (1969)
52. A. Benninghoven ; A.Z.Angew.Phys, 27, 51 (1969)
53. J.S.Colligon, and R.W.Bramham ; Atomic.Col.Solids, Brighton, 258 (1970)
54. A.K.Furr, and C.R.Finfgeld ; J.Appl.Phys, 41, 1739 (1970)
55. J.K.Hepworth ; J.Phys.D, Appl.Phys, 3, 1475 (1970)
56. H.Ismail ; Rev.Appl.Phys, 5, 759 (1970)
57. R.C.Krutenant, and C.Panzer ; J.Appl.Phys, 41, 4953 (1970)
58. E.P.Eernisse ; J.Appl.Phys, 42, 480 (1971)
59. A.J.Summers, N.J.Freeman, and N.R.Daly ; J.Appl.Phys, 42, 4774 (1971)
60. H.Sommerfeldt, E.S.Mashkova, and V.A.Molchanov ; Phys.Lett.38A, 237 (1972)
61. T.M.Nenadovic, Z.B.Fotiric, and T.S.Dimitrijevic ; Surf.Sci, 33, 607 (1972)
62. H.Sommerfeldt, E.S.Mashkova, and V.A.Molchanov ; Phys.Lett.38A, 237 (1972)
63. S.D.Dahlgren, and E.D.Macclanahan ; J.Appl.Phys, 43, 1514 (1972)
64. G.Sletten, and P.Knudsen ; Nucl.Instr.Meth, 102, 459 (1972)
65. H.H.Andersen, and H.L.Bay ; Radiat.Eff, 13, 67 (1972)
66. H.H.Andersen, and H.L.Bay ; Radiat.Eff, 19, 139 (1973)
67. H.J.Smith ; Radiat.Eff, 18, 55 (1973)
68. H.Oechsner ; Z.Phys, 261, 37 (1973)
69. H.F.Winters, and D.Horne ; Phys.Rev.B10, 55 (1974)
70. K.L.Merkle, and P.P.Pronko ; J.Nucl.Mater, 231, 53 (1974)
71. H.H.Andersen, and H.L.Bay ; J.Appl.Phys, 46, 1919 (1975)
72. H.H.Andersen, and H.L.Bay ; J.Appl.Phys, 46, 2416 (1975)
73. J.N.Smith Jr, C.H.Mayer, and J.K.Layton ; Trans.am.Nucl.Soc, 22, 29 (1975)
74. K.Witumaack ; Surf.Sci, 53, 626 (1975)
75. G.Holmen ; Radiat.Eff, 24, 7 (1975)
76. C.R. Finfgeld , Salem.Va-Report No.ORO-3557-15 (1967)
77. M.I.Guzeva, and Y.V.Martynenko ; Fiz.Plaz.(USSR) Vol.2, No.4593-6 (1976)
78. H.H.Andersen, H.L.Bay, W.O.Hofer, and O.Nielsen ; Nucl.Instr.Meth, 132, 301 (1976)
79. J.Bohdansky, J.Roth, and M.K.Sinha ; Pro. 9th. Symp.Fusion.Technol. Pergamon, p541 (1976)
80. E.P.Eernisse ; Appl.Phys.Lett, 29, 14 (1976)
81. W.O.Hofer, and H.Liebl ; Ion.Beam.Surf.Layer.Analysis, Karlsruhe p659 (1976).
82. J.M.Poate, W.L.Brown, R.Homer, W.M..Augustyniak, J.W.Meyer, K.N.Tu, and W.F.Wei ; Nucl.Instr.Meth, 132, 345 (1976)

83. H.Krautle ; Nucl.Instr.Meth, 137, 553 (1976)
84. R.W.Ollerhead, F.M.Mann, D.W.Kneff, Z.E.Switkowski, and T.A.Tombrello ; Phys. Rev. Lett, 36, 439 (1976)
85. J.Roth, J.Bohdansky, W.Poschnrieder, and M.K.Sinha ; J. Nucl. Mater, 63, 222 (1976)
86. Z.E.Switkowski, F.M.Mann, K.W.Kneff, R.W.Ollerhead, and T.A.Tombrello ; Radiat.Eff, 29, 65 (1976)
87. J.N.Smith, C.H.Meyer, and J.K.Layton ; Nucl.Technol, 29, 318 (1976)
88. M.Broun, B.Emmoth, R.Buchta ; Radiat.Eff, 28, 77 (1976)
89. M.K.Sinha, J.Roth, and J.Bohdansky ; Proc. 9th. Symp.on Fusion Technol. (Pergamon Press, Oxford, 1976) p41.
90. K.Akaishi, A.Miyahara, Z.Kabeya, S.Sukenobu, M.Komizo, and T.Gotoh ; J.Vac.Soc.Jpn, 20, 161 (1977)
91. P.H.Holloway ; Surf.Sci, 66, 479 (1977)
92. H.L.Bay, J.Bohdansky, and J.Roth ; J.Appl.Phys, 48, 4722 (1977)
93. J.S.Colligon, and M.H.Patel ; Rad.Effects, 32, 193 (1977)
94. J.W.Coburn, H.F.Winters, and T.J.Chuang ; J. Appl. Phys. 48, 3532 (1977)
95. J.F.Ziegler, J.J.Cuomo, and J.Roth ; Appl.Phys.Lett, 30, 268 (1977)
96. K.Sone, H.Ohtsuka, T.Abe, R.Yamada, K.Obata, T.Narusawa, O.Tsukakoshi, T.Satake, and S.Komizo ; J.Vac.Soc.Japan, 20, 136 (1977)
97. H.L.Bay, J.Bohdansky, and W.Ottenberger ; J.Nucl.Mater, 76&77, 163 (1978)
98. J.A.Borders, R.A.Langley, and K.L.Wilson ; J.Nucl.Mater, 76&77, 168 (1978)
99. B.Emmoth, T.Frird, and M.Braun ; J.Nucl.Mater, 76&77, 129 (1978)
100. W.O.Hofer, H.L.Bay, and P.J.Martin ; J.Nucl.Mater, 76&77, 156 (1978)
101. S.Miyagawa, Y.Ato, and Y.Moriya ; J.Appl.Phys, 49, 6194 (1978)
102. H.Ohtsuka, R.Yamada, K.Sone, M.Saidoh, and T.Abe ; J.Nucl.Mater, 76&77, 188 (1978)
103. E.Hechtl, H.L.Bay, and J.Bohdansky ; Appl.Phys, 16, 147 (1978)
104. J.A.Border ; J.Nucl.Mater, 76&77, 118 (1978)
105. M.Szymonsky, R.S.Bhattacharya, A.E.de Vries, and H.Overeijnder ; J.Phys.D,11, 751 (1978)
106. H.L.Bay, J.Bohdansky, and E.Hechtl ; Radiat.Eff, 41, 77 (1979)
107. S.S.Johar, and D.A.Thompson ; Surf.Sci, 90, 319 (1979)
108. A.R.Oliva-Florio, E.V.Alonso, R.A.Baragiola, J.Ferron, and M.M.Jakas ; Radiat.Eff.Lett, 50, 3 (1979)
109. S.T.Kang, R.Shimizu, and T.Okutani ; Jpn.J.Appl.Phys, 18, 1717 (1979)
110. J.Roth, J.Bohdansky, and W. Ottenberger ; IPP 9/26 Max-Planck-Institut (1979)
111. J.B.Robert, R.A.Zuhr, J.L.Moore, G.D.Alton ; J.Nucl.Mater, 85&86, 1073 (1979)
112. J.Bohdansky, J.Roth, and F.Brossa ; J.Nucl.Mater, 85&86, 1145 (1979)
113. J.Bohdansky ; J.Nucl.Mater, 93&94, 44 (1980)
114. M.Yamashita, S.Baba, and A.Kinbara ; Poc.4th.Symp.Ion Source & Ion.Appl., 311 (1980)
115. S.K.Lam, and M.Kaminsky ; J.Nucl.Mater, 89, 205 (1980)
116. Y.Ato ; J.Vac.Soc.Jpn, 23, 339 (1980)
117. K.Tsunoyama, T.Suzuki, Y.Ohashi, and H.Kishidaka ; Surface Interface.Analysis, 2, 212 (1980)
118. J.Roth, J.Bohdansky, and A.P.Martinelli ; Radiat.Eff, 48, 213 (1980)
119. E.Hechtl J.Bohdansky and J.Roth ;Proc.Symp. on Sputtering, ed. P.Varga, G.Betz, F.P.Viehöck (TU-Wien, 1980) 834
120. Tu.Yung-Yi, T.J.Chuang, and H.F.Winters ; Phys.Rev, B23, 823-5 (1981)

121. K.Saiki, H. Tanaka, S. Tanaka and A. Koma ; *J.Nucl.Mater*, 97, 173-8 (1981)
122. K.L.Merkle, and W.Jager ; *Phil.Mag*, A44, 741-62 (1981)
123. D.A.Tompson ; *J.Appl.Phys*, 52, 982-9 (1981)
124. S.Tachi, K.Miyake, and T.Tokuyama ; *Jpn.Appl.Phys*, 20, L411-3 (1981)
125. A.E.Morgan, H.A.M.De.Grefte, N.Warmoltz, and H.W.Werner ; *Appl.Surf.Sci*, 7, 372-92 (1981)
126. Y.Okajima ; *Jpn. J.Appl.Phys*, 20, 2313 (1981)
127. E.Hechtl, J.Bohdansky and J.Roth ; *J.Nucl.Mater*, 103&104, 333 (1981)
128. R.K.Fitch, and E.A.Mahmoud ; *Thin.Solid.Films*, 87, 379 (1982)
129. R.G.Allas, A.R.Knudson, J.M.Lambert, P.A.Treado, and G.W.Reynolds; *Nucl.Instr.Meth*, 194, 615 (1982)
130. J.Bohdansky, G.L.Chen, W.Eckstein, J.Roth, B.M.U.Scherzer, and R.Behrisch ; *J.Nucl.Mater*, 111/112, 717 (1982)
131. M.Yamasita, S.Baba, and A.Kinbara ; *J. Vac.Soc.Jpn*, 25, 93 (1982)
132. P.C.Zalm, L.J.Beckers, and F.H.M.Sanders ; *Nucl.Instr.Meth*, 209&210, 561 (1983)
133. M.Kaminsky ; private.communication (1983)
134. M.Saidoh, and K.Sone ; *JAERI-Memo*, 58-144 (1983)
135. D.Ghoes, D.Basu, and S.B.Karmohapatro ; *Phys.Stat.Sol*, (A)77,121 (1983)
136. V.Doris, D.A.Stevanovic, D.A.Thompson, and J.A.Davies ; *Nucl.Instr.Meth*, B1, 315-320 (1984)
137. E.Hechtl, and J.Bohdansky ; *J.Nucl.Mater*, 122&123, 1431 (1984)
138. D.Trbojevic, P.A.Treado, and G.S.Paniel ; *Nucl.Instr.Meth*, B10/11, 743-745 (1985).
139. G.Brauer, D.Hasselkamp, W.Krvger, and A.Scharmann ; *Nucl.Instr.Meth*, B12, 458 (1985)
140. J.Bohdansky, J.Roth and W.Ottenberger ; *Ipp-Jet*, No.31 (1985)
141. M.Tomita, T.Nate, S.Miyagi, and M.Sakisaka ; *J.Nucl.Mater*, 138, 248 (1986)
142. O.Ellegaard, J.Schou, and H.Sorensen ; *Nucl.Instr.Meth*, B13, 567 (1986)
143. E.Hechtl, and J.Bohdansky ; *J.Nucl.Mater*, B143, 139 (1986)
144. S.Cherrickjian, and I.H.Wilson ; *Nucl.Instr.Meth*, B13, 426 (1986)
145. M.Saidoh, H.Gnaser, and W.O.Hofer ; *Appl.Phys*, A.40, 197 (1986)
146. J.P.O'Connor, L.M.Baumel, P.G.Blauner, K.M.Hubbard, M.R.Weller, and A.Weller ; *Nucl.Instr.Meth*, B13, 365 (1986)
147. E.Hintz, D.Rusboldt, B.Schweer, J.Bohdansky and J.Roth ; *J.Nucl.Mater*, 93&94, 656 (1986)
148. D.J.Oostra, R.P.Van Ingen, A.Haring, and A.E.de Vries ; *Appl.Phys.Lett*, 50, 1506 (1987)
149. A.Oliva-Florio, R.A.Baragiola, M.M.Jakas, E.V.Alonso, and J.Ferron; *Phys.Rev*, B35, 2198 (1987)
150. J.Bohdansky, and J.Roth ; *J.Nucl.Mater*, 145, 387 (1987)
151. J.Bohdansky, E.Hechtl, A.P.Martinelli and J.Roth ; *Nucl.Instr.Meth*, B18, 509 (1987)
152. P.Ray, A.Mukherjee, and Handoo ; *Nucl.Instr.Meth*, B40&41, 299 (1989)
153. J.Roth, J.Bohdansky, and W.Ottenberger ; *J.Nucl.Mater*, 165, 193 (1989)
154. A.A.Haasz, and J.W.Davis ; *J.Nucl.Mater*, 162-164, 915 (1989)
155. A.Santaniello, J.Appelt, J.Bohdansky, and J.Roth ; *J.Nucl.Mater*, 162-164, 951 (1989)
156. E.Hechtl, H.R.Yang, C.H.Hu and W.Eckstein; *J.Nucl.Mater*, 176-177,290 (1990)
157. E.Hechtl, W.Eckstein, J.Roth and J.Laszo ; *J.Nucl.Mater*, 179-181, 290 (1991)
158. E.Hechtl, A.Mazanec, W.Eckstein and J.Roth ; *J.Nucl.Mater*, 196-198, 713 (1992)
159. W.Eckstein, C.Garcia-Rosales, J.Roth and W.Ottenberger ; *IPP 9/82 Max-Planck-Institut* (1993)