

BaF₂ 晶体的取向和人射束的剂量 对溅射的影响*

陶振兰 王震遐 朱福英 章骥平 潘冀生

(中国科学院上海原子核研究所, 上海 201800)

周 祖 尧

(中国科学院上海冶金研究所, 上海 200050)

沈定中 袁湘龙 华素坤

(中国科学院上海硅酸盐研究所, 上海 201800)

(1993 年 7 月 12 日收到)

27keV Ar⁺ 离子束沿法向分别入射在 BaF₂ 单晶(111), (100)和(110)的晶面上,用捕获器方法和 Rutherford 背散射分析法测定了 Ba 原子的溅射角分布和溅射产额。结果发现不同取向的晶体表面,它们的溅射产额有明显差异。当用剂量为 5×10^{17} ion/cm² 的 Ar⁺ 离子分别轰击这三种晶面时,其溅射产额的顺序 $Y_{(100)} > Y_{(111)} > Y_{(110)}$ 。对已被上述剂量辐照过的晶面再作相同剂量轰击时,测得的溅射产额明显增大。这些结果被认为是由于在离子辐照过程中表面晶格受损逐步增大所致。

PACC: 7920N

1 引 言

有关晶格取向对溅射产额、溅射角分布的影响,产额与人射离子的能量关系等,Robinson 和 Roosendaal 分别从理论和实验方面对前人的工作做了很好的概括^[1]。Southern 等^[2]观察了 Cu 单晶的溅射产额随着 Cu 晶体的取向变化很大,且沿着 Cu 单晶的某一方向择优溅射,他们用“透明模型”对这一现象作了定性的解释。稍后, Onderdelinden^[3]利用 Linhard^[4]的沟道理论把定性解释的“透明模型”扩展成定量的理论公式,这一公式与 Ar⁺ → Cu 单晶的溅射产额符合得很好。有人对钴单晶做过溅射实验,发现溅射产额与人射粒子的剂量有很大关系^[5]。好的沟道取向如钴 hcp <0001> 方向其溅射产额要比钴 fcc<111> 方向受剂量的影响更明显。但到目前为止,这方面的溅射实验尚只局限于少数几个单晶。

本文目的是测量 BaF₂ 单晶的不同取向对溅射产额的影响,同时测量不同取向的溅

* 国家自然科学基金资助的课题。

射产额随入射剂量的变化情况,之所以选取 BaF_2 晶体,主要是由于它的结构简单(为立方面心结构),性能优良,它可以同时用于时间谱和能谱的测量。国内外对它的性能、辐射损伤作了大量、深入的研究报道,但对 BaF_2 单晶的溅射研究尚未见到有人报道。

2 实 验

BaF_2 单晶是属于面心立方结构型,如图 1 所示。它是一种配位型晶体,每个钡原子周围有 8 个氟离子,构成阴离子立方结构基元,而 F^- 被 4 个 Ba^{2+} 所环绕构成四面体结构基元, Ba^{2+} 位于立方面心格位呈紧密堆积^[6]。

本实验选取三种不同晶面 (111), (100) 和 (110) 的 BaF_2 单晶作为样品, (111) 为解理面, (100) 和 (110) 表面抛光并经 X 射线衍射测定。为了进一步检查晶面,在未进行溅射实验前,采用 2 MeV He^+ 离子束对 (100) 和 (110) 二种晶面作了背散射的定向谱测定。图 2 所示为 (110) 面背散射的定向谱和随机谱。(100) 的 RBS 谱大小和形状基本与 (110) 的类似,不再画出。

离子溅射实验是在中国科学院上海原子核研究所同位素分离和离子注入装置上 (EMIS-SIN-02) 进行的。离子经过 90° 偏转磁铁、可调狭缝和准直器之后进入溅射靶室,在靶室的限流孔前还装有一液氮冷阱,溅射靶室的真空度保持在 $1 \times 10^{-6} \text{ Torr}$ 。同

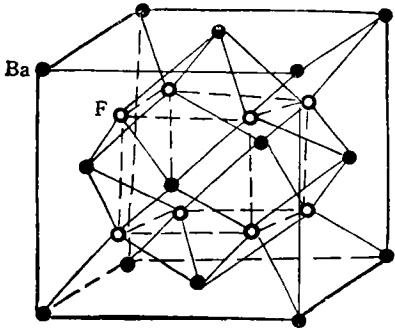


图 1 BaF_2 晶体结构

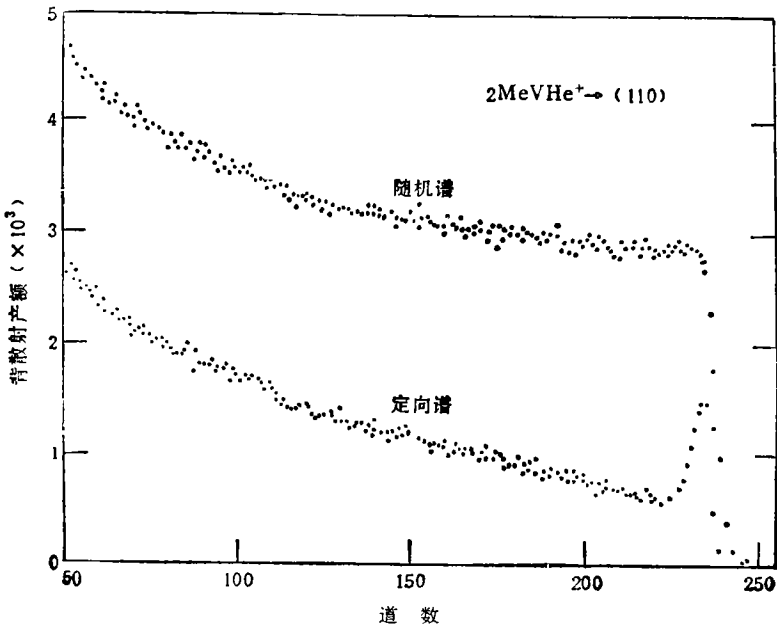


图 2 BaF_2 单晶(110)面的背散射能谱

时用电绝缘的液氮冷指冷却靶底座。

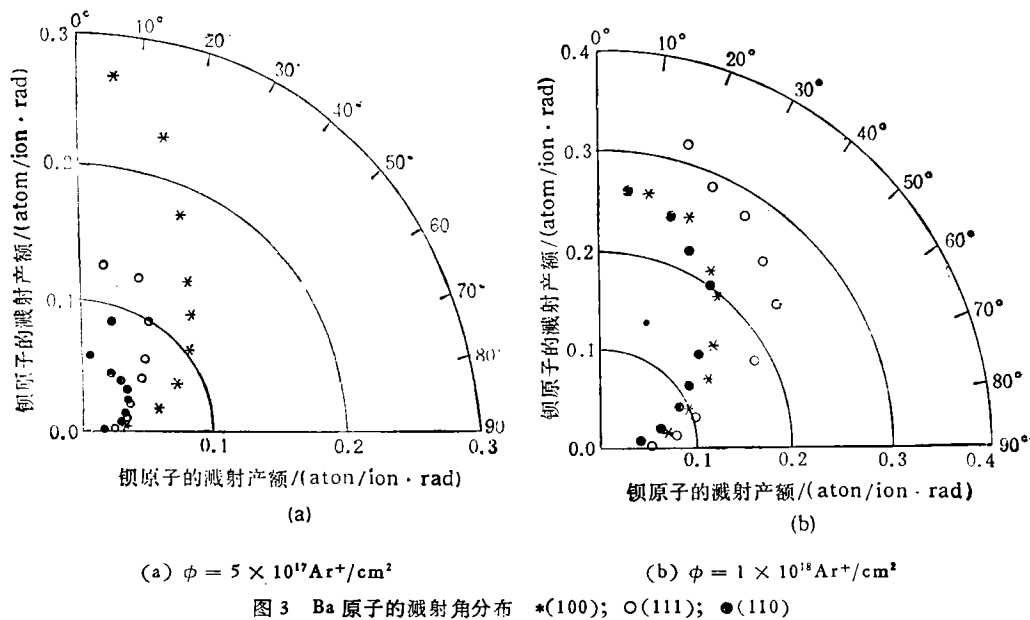
溅射角分布的测量采用捕集器法,被溅射的靶原子由置于以靶点为中心,半径为30mm 的圆形支架上的高纯度(99.999%) Al 箔捕获.该实验装置示意图参见文献[7].装有 Al 捕获膜的圆形支架可以上下滑动,使得当靶被轰击到某一剂量时,可以在不破坏真空的条件下,自动调换捕获膜.用这一装置可以测量同一靶面被辐照时的不同阶段其溅射角分布和溅射产额。

27keV Ar^+ 离子束被很好准直后分别沿法向入射在(111),(100)和(110)晶面上,样品上的 Ar^+ 离子剂量由束流积分器记录,误差为 $\pm 2\%$ 。每一样品分别遭受两次轰击,每次剂量均为 $5 \times 10^{17} \text{Ar}^+/\text{cm}^2$ 。

利用卢瑟福背散射技术分析捕获膜上所收集的钡原子,分析时使用 2MeV 的 He^+ 离子束, Si(Au) 面垒型探测器放置于 170° 处对背散射的 He^+ 离子进行测量,探测系统的总能量分辨率对 Si 而言为 16keV。

3 结果与讨论

实验测得的钡原子的溅射角分布如图 3(a) 和 3(b) 所示,在图 3(a) 中(110)溅射角分布上约在出射角为 15° 处有一较大产额,经分析认为(110)的溅射产额很小,因而各点相应的统计误差较大。从总的趋势看不能把这一点作为择优溅射。它们的角分布形状皆为 over-cosine 分布。



各晶面的溅射产额列于表中,从表中所列数据可以看到,随着靶面接收剂量的增大,溅射产额明显增加。这一结果可以用 Onderdelinden^[4] 的透明理论进行解释:当一准直入射束沿着原子的排列方向入射时,进入晶体内的束流可被分成两部分,一部分沿沟道运

动,这部分对溅射不起作用,而另一部分入射束流由于跟表面和近表面的原子发生碰撞而变成随机束流,在碰撞中入射粒子把足够能量转移给晶格原子而克服结合能引起溅射.因此当靶面受到辐照时,随着剂量逐步增大造成表面晶格受损加大,亦即随机束流增大,导致溅射产额增加,甚至溅射产额可达多晶时的溅射产额.

表 1 BaF₂ 晶体不同取向、剂量与溅射产额

样品	靶面接收到的剂量 $\phi/(\text{Ar}^+/\text{cm}^2)$	溅射产额 $Y/(\text{atom/ion})$
(111)	5×10^{17}	0.29
	1×10^{18}	1.13
(100)	5×10^{17}	0.58
	1×10^{18}	0.78
(110)	5×10^{17}	0.18
	1×10^{18}	0.68
多晶	5×10^{17}	1.35

根据 Onderdelinden 的透明理论,单晶溅射产额 Y_{hkl} 与多晶靶的溅射产额 $\hat{Y}$ 之间的关系为

$$Y_{(hkl)}(E) = \chi_{(hkl)}(E) \eta_{(hkl)} \hat{Y}(E).$$
 (1)

其中 E 为入射粒子能量; $\eta_{(hkl)}$ 为拟合参数; $\chi_{(hkl)}(E)$ 为入射束进入晶体表面后的非沟道份额,它与靶密度 N ,晶面距离 d_{hkl} ,以及入射粒子与靶原子的原子序数 (Z_1, Z_2) 有关.为简单起见,我们忽略了 F 离子对 Ar^+ 和 Ba 离子之间相互作用势的影响:

$$\chi_{(hkl)}(E) = \pi N d_{(hkl)}^2 (3a^2 Z_1 Z_2 e^2 / E)^{1/2}.$$
 (2)

其中 $a = 0.8853 a_0 (Z_1^{2/3} + Z_2^{2/3})^{-1/2}$; a_0 为波尔半径.

用上式估算了 $\chi_{(111)}$.在 BaF₂ 晶体中单位立方厘米的 Ba 原子数 $N = 4/C^3 = 1.67 \times 10^{22}/\text{cm}^3$, $C = 6.19 \text{ \AA}$ 为 BaF₂ 的晶格常数, $d_{(111)} = C/\sqrt{3} = 3.58 \text{ \AA}$,根据 (2) 式 $\chi_{(111)} \simeq 5\%$,实验测得 $Y_{(111)} = 0.29 \text{ atom/ion}$.一般在这一能量范围内 $\text{Ar}^+ \rightarrow \text{Cu}$ 单晶, $\chi_{(111)}^{\text{Cu}} \sim 20\%$, $Y_{(111)}^{\text{Cu}} \simeq 5.5 \text{ atom/ion}^{[2]}$.以上估计与我们得到的实验结果在趋势上是一致的.

根据实验结果,当剂量 $\phi = 5 \times 10^{17} \text{ Ar}^+/\text{cm}^2$ 时,不同取向的溅射产额与多晶靶的溅射产额比值分别为 $\frac{Y_{(111)}}{\hat{Y}} \simeq 0.2$; $\frac{Y_{(100)}}{\hat{Y}} \simeq 0.4$; $\frac{Y_{(110)}}{\hat{Y}} \simeq 0.1$.溅射产额的顺序为 $\hat{Y} > Y_{(100)} > Y_{(111)} > Y_{(110)}$;当各晶面经受一段相同剂量辐照之后,再进行相同条件下的溅射实验时(二次实验不破坏真空,同一靶点,捕获膜自动替换),各晶面的溅射产额明显增加,两次辐照所得的溅射产额比值分别为 3.9 倍 $\langle(111)\rangle$,1.3 倍 $\langle(100)\rangle$,3.8 倍 $\langle(110)\rangle$ (参见表 1 所列结果).最后溅射产额的大小顺序变为 $\hat{Y} > Y_{(111)} > Y_{(100)} > Y_{(110)}$.

4 结 论

BaF₂ 单晶的溅射产额随单晶的取向及入射剂量的不同而不同,其中(111)和(110)的产额变化较明显(如表 1 所示).溅射产额的变化可能与表面受损逐步加大以及靶表面的

状况有较大关联。我们用的靶面(111)是解理面,(100)和(110)是抛光面,这一表面状况对溅射产额及角分布的影响尚待进一步研究。

- [1] R. Behrisch (ed.): *Sputtering by Particle Bombardment I* (Springer, Berlin, Heidelberg, New York, 1981).
- [2] A.L. Southern, W.R. Wills and M. T. Robinson, *J. Appl. Phys.*, **34**(1963),153.
- [3] D. Onderdelinden, *Appl. Phys. Lett.*, **8**(1966), 189.
- [4] J. Lindhard, *Mat. Fys. Medd. Dan. Vid. Selsk.*, **34**(1965), 14.
- [5] J. Johansen, E. Johnson, L. Sarholt-Kristensen and S. M. Abdali, *Nucl. Instr. and Meth.*, **218** (1983),737.
- [6] 华素坤、仲维卓,人工晶体学报, **21**(1992),131.
- [7] 潘冀生、王震遐、陶振兰、章骥平、张慧明、赵烈,物理学报, **40**(1991),2018.

EFFECT OF CRYSTAL ORIENTATION AND INCIDENT ION FLUENCE ON SPUTTERING FROM ION- IRRADIATED BaF₂

TAO ZHEN-LAN WANG ZHEN-XIA ZHU FU-YING ZHANG JI-PING PAN JI-SHENG
(Shanghai Institute of Nuclear Research, Academia Sinica, Shanghai 201800)

ZHOU ZU-YAO
(Shanghai Institute of Metallurgy, Academia Sinica, Shanghai 200050)

SHEN DING-ZHONG YUAN XIANG-LONG HUA SU-KUN
(Shanghai Institute of Ceramics, Academia Sinica, Shanghai 201800)
(Received 12 July 1993)

ABSTRACT

BaF₂ Crystal was irradiated with 27keV Ar⁺ ions along the normal of (111), (100) and (110) planes at a current density of 10μA/cm². Using collector technique and RBS analysis, the angular distribution and yield of Ba atoms sputtered from BaF₂ crystal have been measured as a function of orientation and ion fluence. The obtained angular distributions of Ba atoms sputtered are over-cosine type for all specimens. The sputtering yields were strongly dependent on the fluence of the incident beam on the targets

PACC: 7920N