

硅蹼中位错和层错的X射线貌相研究* 1)

杨传铮 姜小龙 许顺生

(中国科学院上海冶金研究所)

提 要

利用 X 射线投影照相术观察和分析了硅膜中的位错和层错。在生长态硅膜中,除观察到柏氏矢量为 $\frac{1}{2}\langle 110 \rangle$ 的刃型、螺型与 60° 全位错以及柏氏矢量为 $\frac{1}{6}\langle 112 \rangle$ 的 Shockley 刃型半位错外,还观察到平行于硅膜表面的大面积层错和膜中的 60° , 30° Shockley 半位错。位错在热处理过程中运动并发生位错反应形成近六角形的位错网络。热处理改变生长态硅膜中层错的组态和衬度,并由于杂质聚集破坏了 Shockley 半位错的消象法则。还观察到层错象中的位错。对所观察的结果都分别作了分析和简要的讨论。

一、引言

硅膜是一种片状硅单晶，它是以枝蔓为籽晶用 Czochralski 方法生长的，膜面为正 (111)，生长方向为 $[11\bar{2}]$ 。这种晶体常包含平行膜面的多次孪生，两相邻孪生面之间区域称为孪生薄片，见图 1(a)。如果孪生次数为奇数，则两表面部分晶体互为孪生，其关系可以绕孪生面法线旋转 180° 或 $(11\bar{2})$ 的反映而得到，见图 1(b)。孪生薄片常处在膜片厚度的中央附近。

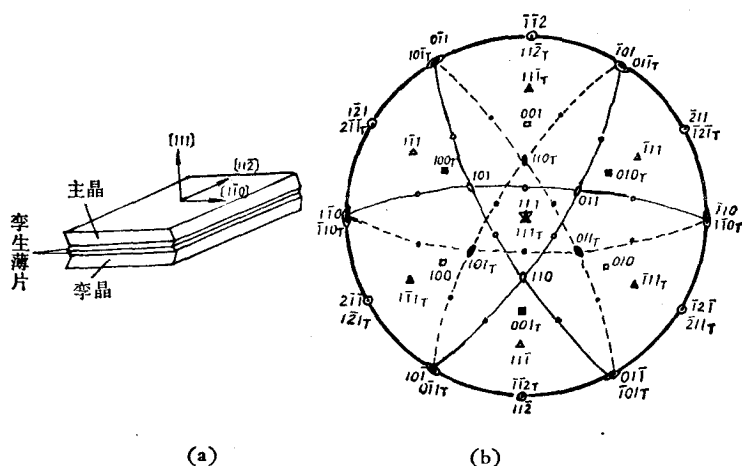


图1 枝蔓硅膜的示意图 (a) 和主晶-孪晶取向关系 (b) 若有 n 次孪生, 则孪生薄片为 $n-1$ 层. 若 $n =$ 奇数其两表面部分晶体互为孪生取向关系

* 1978 年 12 月 4 日收到。

1) 本文的实验工作是1973年完成的, 南京大学物理系蒋树声同志参加了部分实验工作。

生长态硅膜中的位错曾由其他科学工作者用择优腐蚀^[1,2]和X射线貌相^[3]方法研究过,平行于膜面的大面积层错仅在退火硅膜中观察到^[4].本文用Lang^[5]的投影貌相术,MoK_{α1}辐射观察分析了硅膜中的缺陷,除观察到生长态硅膜中的各种位错外,还观察到大面积层错;并且研究了生长态位错在1200℃热处理过程中的运动和交互作用,以及热处理后层错组态和衬度的变化.

二、生长态硅膜中的位错组态

1. 位错的来源

图2为1号硅膜试样的投影貌相图.从每一张照片的两侧可清楚看到由枝蔓中的高衬度应力集中点发出大量位错,并向膜中延伸.仔细观察枝蔓的宏观形貌发现应力集中点与枝蔓上凸起的小疙瘩适相对应,这与O'Hara^[1]的观察分析相符.另一种位错是在枝蔓与膜的相接处,由于热应力而引入,并向膜中央滑移.这种位错带在投影貌相图中呈现为沿 $\langle 110 \rangle$ 方向的带状分布,并以垂直于生长方向的 $[1\bar{1}0]$ 一组最短.

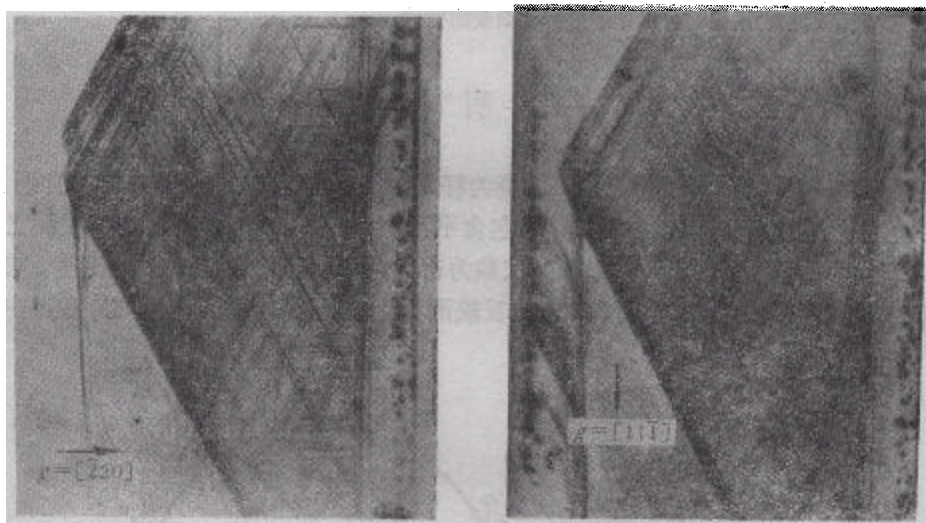


图2 1号硅膜试样投影貌相图 5×

还有一组沿生长方向延伸很长的位错线,它可能是在生长小钮扣时引入的这种取向位错的延伸,它除非与倾斜的 $\{111\}$ 孪生面等面缺陷相遇而终止,一般会延伸到整个膜的长度中.

2. 倾斜 $\{111\}$ 面上的位错

具有金刚石立方结构的硅晶体,位错一般躺在 $\{111\}$ 滑移面上,除去膜表面 (111) 外,位错还可能躺在三组倾斜的 $\{111\}$ 面上,在图2中就可以看到这样三组位错,它的密度很高,不能分辨出单个位错.在2号硅膜试样的貌相图(见图3)中看到弯曲的或直的、短的与生长方向成 0° , 19° , 40° , 60° 和 79° 的位错线,它们都是 $\langle 112 \rangle$ 走向位错的投影.

在所示出的貌相图中均可看到长而直的位错线.它们都处在平行于表面的 (111) 上.

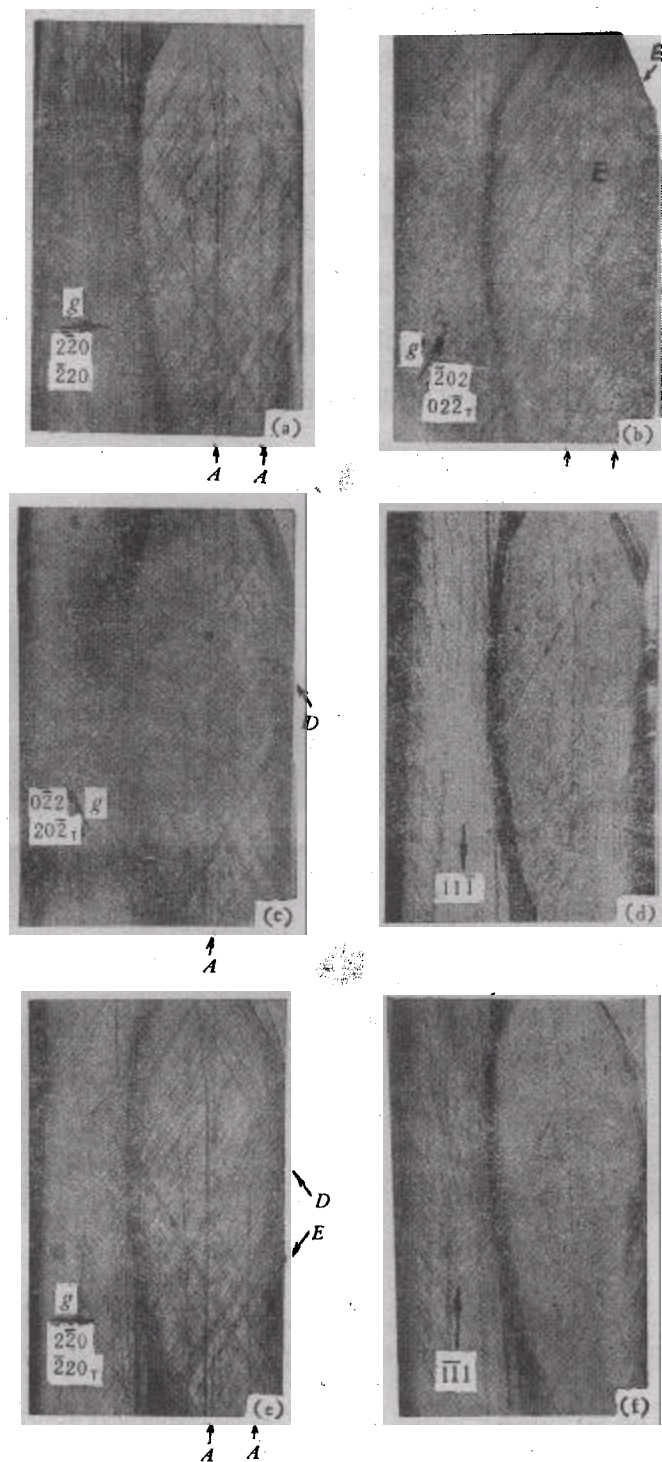


图3 2号试样的投影貌相图 $6\times$
 (a)–(d) 为生长态硅膜; (e)–(f) 为 1200°C 退火六小时

为了研究这些位错,对所分析的试样拍摄对称透射几何的 $2\bar{2}0$, $0\bar{2}2$, $20\bar{2}$, $2\bar{2}\bar{4}$, $2\bar{4}\bar{2}$ 和 $4\bar{2}2$ 六个反射的貌相图和 $1\bar{1}1$, $\bar{1}11$, $11\bar{1}$ 非对称透射几何的貌相图。

3. 刃型和螺型全位错

在图 4 中以 A 表示的位错,其走向为 $[11\bar{2}]$,它们在 $2\bar{2}0$ 貌相图中衬度最强,在 $2\bar{2}\bar{4}$ 貌相图中消失,而在其它对称几何的貌相图中都具有中等衬度,因此,根据位错线的消象规律分析,其杨氏矢量应为 $\frac{1}{2}[1\bar{1}0]$ 。在图 3(a), (b), (c), (e) 中的右半部分以 A 表示的沿 $[11\bar{2}]$ 方向延伸的几根长的位错也在 $2\bar{2}\bar{4}$ 貌相图中消象,同时也在 $11\bar{1}$ 及退火后的 $\bar{1}11$ 貌相图(图 3(d), (f))中消象,它们也都是柏氏矢量为 $\frac{1}{2}[1\bar{1}0]$ 的刃型位错。

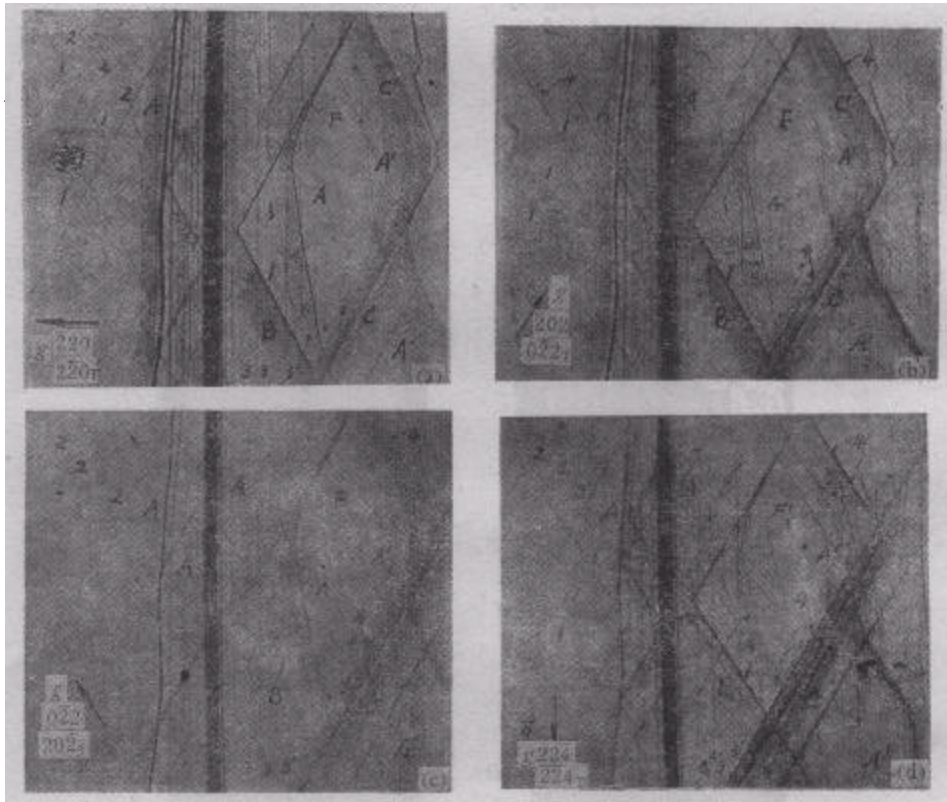


图 4 3号生长态硅膜的投影貌相图 6×

在图 4 中以 A' 表示的走向为 $[11\bar{2}]$ 的位错,在所有作过的各种反射面的貌相图中均有衬度,因此未能从消象法则作出分析判断,在有些文献中^[2-4]仍然认为它们是柏氏矢量为 $\frac{1}{2}[1\bar{1}0]$ 的刃型位错。在图 3 和图 4 中的每一张照片中部都有很高衬度的位错带,它们的中央部分已不能分辨出单根位错线,一般为密度极高的位错束,它也不符合衬度的消象法则。

在图 4 中以 F 表示的弯曲位错线,有一段走向为 $[1\bar{1}0]$,它在 $2\bar{2}0$ 貌相图中衬度最强,

而在 $22\bar{4}$ 貌相图中消失, 说明这一段位错是柏氏矢量为 $\frac{1}{2} [1\bar{1}0]$ 的螺型位错。

4. 60° 全位错

在图 4 中以 B 表示的一组位错, 在 $22\bar{4}$ 貌相图中消象, 可见其是具有柏氏矢量为 $\frac{1}{2} [1\bar{1}0]$, 走向为 $[0\bar{1}1]$ 的 60° 全位错。

图 3 中以 D, E 表示的两组位错走向分别为 $[0\bar{1}1]$ 和 $[\bar{1}01]$, 它们分别在 $\bar{2}02$ 和 $0\bar{2}2$ 貌相图[见图 3(b), (c)] 中近乎消象, 而在其它对称透射几何的貌相图中均具有衬度, 若认为它们的柏氏矢量躺在平行于膜面的 (111) 面内, 那么它们的柏氏矢量可能分别为 $\frac{1}{6} [1\bar{2}1]$ 和 $\frac{1}{6} [\bar{2}11]$, 这将是一种半位错, 即为平行于表面的层错边界。但拍摄三个非对称反射貌相图, 发现单晶部分晶体是完整的, 主晶部份没有观察到层错的象, 因此上述假定不能成立。然而在 $11\bar{1}$ 和 $\bar{1}\bar{1}1$ 的貌相图中, 上述两组位错都近乎消象, 可见 D, E 两组位错的柏氏矢量分别为 $\frac{1}{2} [101]$ 和 $\frac{1}{2} [011]$, 所以, 它们分别是处在两组与表面倾斜的滑移面 $(\bar{1}11)$ 和 $(1\bar{1}1)$ 上的 60° 全位错。

在图 4 中以 C 和 C' 表示的两组位错走向分别为 $[\bar{1}01]$ 和 $[0\bar{1}1]$, 它们在所示的貌相图中都有衬度, 但在 $22\bar{4}$ 貌相图中最强, 在 $2\bar{2}0$ 貌相图中衬度相同, 而在 $\bar{2}02$ 貌相图中 C 较弱, C' 较强, 在 $0\bar{2}2$ 貌相图中正好相反, 虽然在 $2\bar{4}2$ 和 $\bar{4}22$ 貌相图中均有衬度, 但这两组位错的柏氏矢量仍可能分别为 $\frac{1}{2} [01\bar{1}]$ 和 $\frac{1}{2} [\bar{1}01]$, 也属 60° 全位错。

5. Shockley 半位错

在图 4 中以 1, 2 表示的两组位错, 前者在 $0\bar{2}2$ 貌相图中消象, 表明它具有 $\frac{1}{6} [2\bar{1}\bar{1}]$ 的柏氏矢量, 后者在 $\bar{2}02$ 貌相图中消象, 表明其具有 $\frac{1}{6} [\bar{1}2\bar{1}]$ 的柏氏矢量, 两者的走向分别为 $[0\bar{1}1]$ 和 $[\bar{1}01]$, 故均属于刃型 Shockley 半位错。

图 4 中位错 3 和 3' 的走向均为 $[11\bar{2}]$, 位错 3 在 $\bar{2}02$ 貌相图中消象, 表明其柏氏矢量为 $\frac{1}{6} [1\bar{2}1]$, 这是 60° 型的半位错, 但是 3' 位错在所作的对称几何貌相图中均有衬度, 故未能作出解释, 可能是类似于 A' 的位错。

位错 4 和 4' 在 $22\bar{4}$ 貌相图中有最强的衬度, 在 $0\bar{2}2$ 和 $\bar{2}02$ 貌相图中具有中等的衬度, 而在 $\bar{2}20$ 貌相图中几乎消失, 表明这两极位错线都具有 $\frac{1}{6} [11\bar{2}]$ 的柏氏矢量, 而 4 和 4' 位错的走向分别为 $[\bar{1}01]$ 和 $[0\bar{1}1]$, 故位错走向与柏氏矢量呈 30° 夹角, 我们称之为 30° Shockley 半位错。

Shockley 半位错应为层错的边界, 比较图 4 与图 5(a) 可知, 所分析的半位错与层错的边界适相对应。

表 1 生长态硅膜中出现的位错分析

全位错									
位 错 号	A	A'	B	C	C'	D	E	F	
走 向	[112]	[112]	[011]	[101]	[011]	[011]	[101]	[110]	
杨氏矢量	$\frac{1}{2} [1\bar{1}0]$	$\frac{1}{2} [1\bar{1}0]$	$\frac{1}{2} [1\bar{1}0]$	$\frac{1}{2} [01\bar{1}]$	$\frac{1}{2} [101]$	$\frac{1}{2} [101]$	$\frac{1}{2} [011]$	$\frac{1}{2} [110]$	
位错类型	刃型全位错	刃型全位错	60° 全位错	60° 全位错	60° 全位错	60° 全位错	60° 全位错	螺型全位错	
半位错									
位 错 号	1	2	3	4	4'				
走 向	[011]	[101]	[112]	[101]	[011]				
柏氏矢量	$\frac{1}{6} [211]$	$\frac{1}{6} [121]$	$\frac{1}{6} [121]$	$\frac{1}{6} [112]$	$\frac{1}{6} [112]$				
位 错 类 型	刃型 Shockley 半位错	刃型 Shockley 半位错	60° Shockley 半位错	30° Shockley 半位错	30° Shockley 半位错				

表 1 列出了出现于生长态硅蹼中的各种位错分析结果。

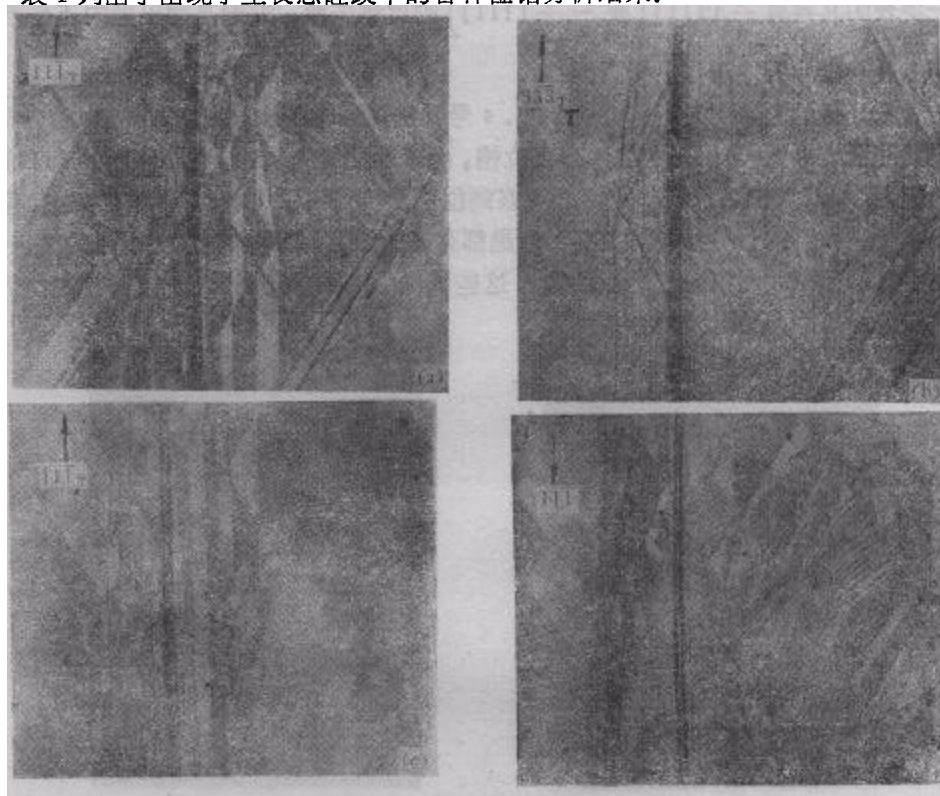


图 5 3 号试样的投影貌相图 6 ×
(a) 生长态; (b) — (d) 1200°C 退火六小时

三、生长态硅蹼中的层错

Meieran 和 Blech^[4] 仅在退火硅蹼中观察到大面积的层错, 而我们在生长态的硅蹼中也观察到大面积的层错。层错的消象法则是在下列情况时衬度消失:

$$\mathbf{g} \cdot \mathbf{R} = 0, \pm 1, \pm 2, \dots,$$

其中 $\mathbf{R}$ 是层错矢量。对于面心和金刚石立方结构的晶体, 层错矢量为 $\pm \frac{1}{3} \langle 111 \rangle$ 。为了计算的目的, 对于抽出型层错取 $+\frac{1}{3} \langle 111 \rangle$, 插入型取 $-\frac{1}{3} \langle 111 \rangle$ ^[6]。如果层错处于倾斜的 $\{111\}$ 面上, 那么在对称的 $\{22\bar{4}\}$ 貌相图中是不消象的。如果层错平行于表面, 那么在与表面倾斜的 $\{11\bar{1}\}$ 貌相图中不消象, 而在所有对称几何的貌相图中都消象。比较图 4 和图 5, 在对称透射几何的 $\{22\bar{4}\}$ 和 $\{2\bar{2}0\}$ 貌相图中层错象消失, 而在非对称透射的 $\{11\bar{1}\}$ 和 $\{400\}$ 貌相图中观察到层错的象, 说明所观察到的层错矢量垂直于 (111) 面。为了进一步证实上述判断, 对退火的 3 号、4 号硅蹼还拍摄与表面倾斜的 $\{33\bar{3}\}$ 貌相图, 发现层错象也消失, 这是因为

$$\frac{1}{3} [111] \cdot [33\bar{3}] = 1,$$

这进一步表明其具有 $\frac{1}{3} [111]$ (或 $-\frac{1}{3} [111]$) 的层错矢量, 究竟是抽出型的还是插入型的尚需进一步分析才能作出判断。

一个十分有趣的问题是所研究的 2, 3, 4 号硅蹼试样中的缺陷在主、孪晶中的分布明显不同。对于 2 号试样, 仅在主晶中存在位错, 而孪晶则是完整的, 且在倾斜的 $\{111\}$ 面存在位错, 经择优腐蚀后仅在一个表面观察到位错蚀坑证实了这点; 3 号试样在主、孪晶中都存在位错和层错; 4 号试样, 主晶和孪晶都存在位错, 而且观察到弯曲混乱的位错线, 但仅在主晶中存在大面积层错 (见图 6)。这些试样中缺陷存在情况不同, 可能与蹼的生长工艺相关。

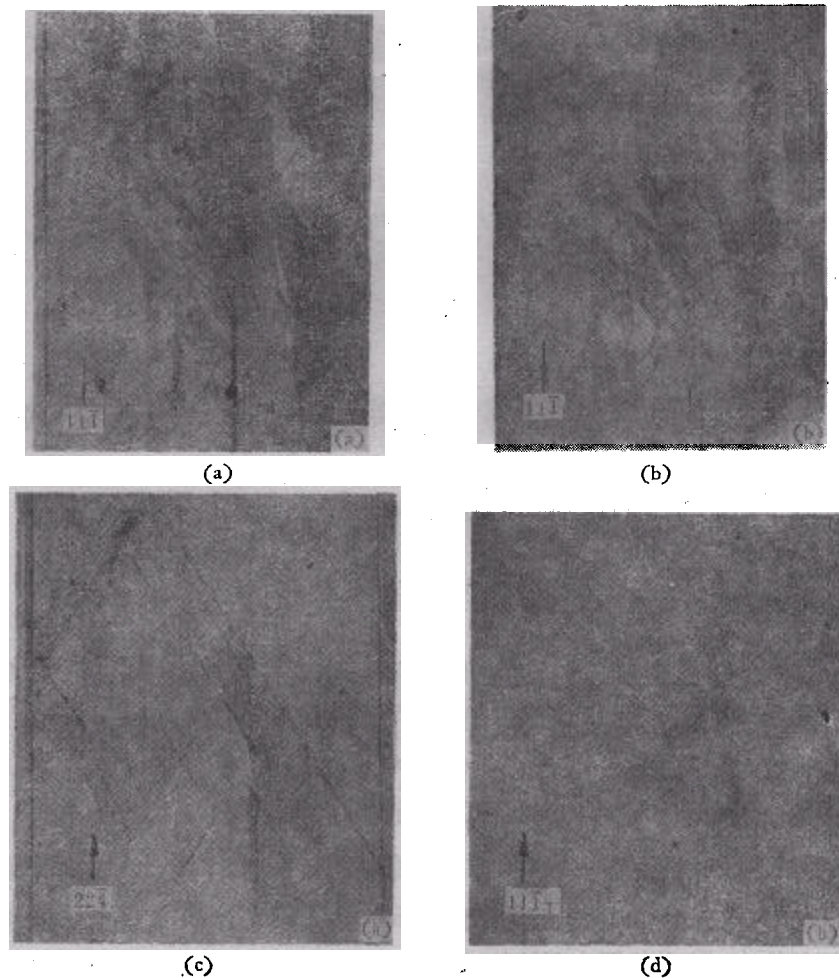


图 6 4 号试样的投影貌相图 $6\times$

(a)–(c) 为孪晶部分; (d) 为主晶部分;

(a) 是生长态; (b)–(d) 为 1200°C 退火六小时

四、退火硅蹼中的缺陷

为了研究高温热处理对生长态硅蹼中缺陷的影响, 我们将 2, 3, 4 号试样放在硅器件

的氧化炉中,在 1200℃ 大气气氛中退火六小时,然后再拍摄一系列反射的貌相图。

1. 位错的运动

我们将图 7(a) 与图 4(a) 相对照,可以清楚地看到纯刃型全位错 A 和 A' 已滑移而散开, 60° 全位错 B , C 和 C' 也滑移运动,在运动过程中还发生位错的交互作用。处在 $(1\bar{1}1)$, $(\bar{1}11)$ 滑移面上的 60° 全位错 D 和 E (见图 3) 并未运动,这可能是因为晶片的整个厚度仅有二百多微米,其中孪生薄片的厚度极小,如果这类位错处在两表面的晶体中,则它们可向体外滑移而消失,但实验中未观察到这种现象。据此我们推断该组 60° 位错处于薄层的孪生薄片,而孪晶界则是这种位错运动不可逾越的障碍,因此这些 60° 位错在热处理过程中看起来几乎是不动的。

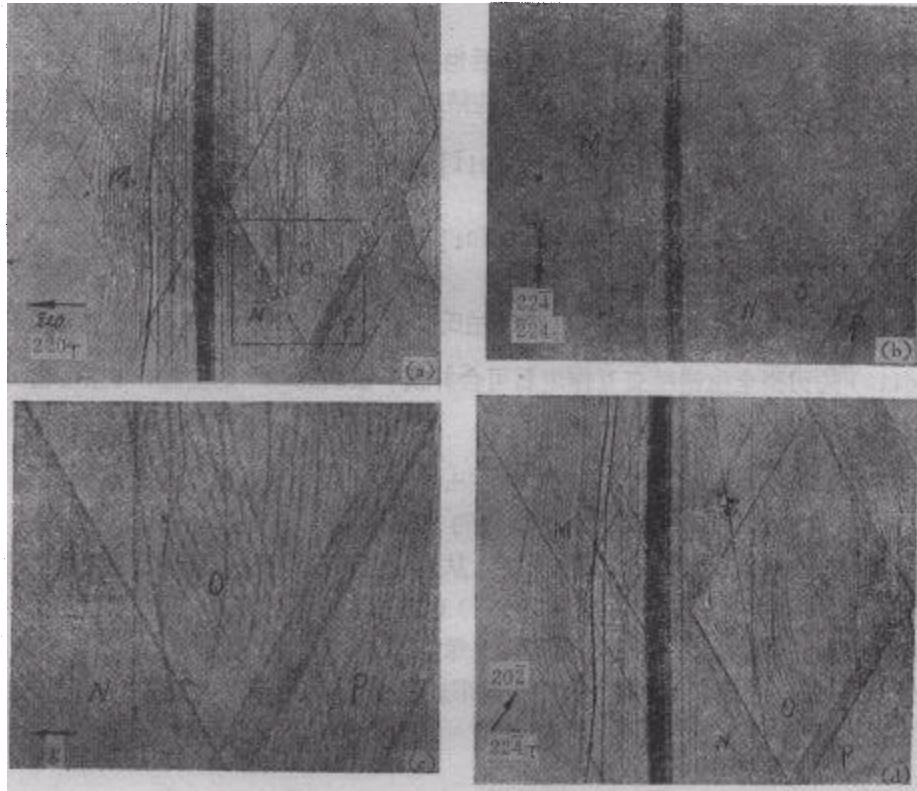


图 7 3 号试样退火后的 X 射线貌相图

(a), (b), (d) 放大五倍; (c) 为 (a) 的方框所示区域的进一步放大 15×

在 1200℃ 高温下退火,位错的攀移和滑移运动都是可能的。在我们的实验中仅观察到位错向两侧滑移,而未见位错向表面外攀移而减少,因此所研究的处在 (111) 滑移面的位错可能处在孪生薄片。位错滑移的动力是热应力和同号位错的斥力。

2. 位错的交互作用和网络的形成

1) 刃型全位错与刃型半位错的交互作用 将图 7 中 M 区域与图 4 相应区域对比,可见位错 A 在运动中与未运动的半位错 1, 2 相遇时会发生下列反应:

$$\begin{aligned}\frac{1}{2} [1\bar{1}0] + \frac{1}{6} [\bar{2}11] &\longrightarrow \frac{1}{6} [1\bar{2}1], \\ \frac{1}{2} [1\bar{1}0] + \frac{1}{6} [\bar{1}2\bar{1}] &\longrightarrow \frac{1}{6} [2\bar{1}\bar{1}].\end{aligned}$$

换言之,刃型全位错与刃型的 Shockley 半位错相遇时产生一小段与原 Shockley 位错成 60° 的 Shockley 半位错,由于这样反应所形成位错的能量都只有原来位错能量的四分之一,因此是可能的.在图 7(a)的左下部观察到由上述位错反应形成的位错组态.显然,这和面心立方晶体中的扩展位错是不同的.

2) 60° 全位错与刃型全位错的交互作用 在图 7 的 *N* 区域,由于位错的交互作用,形成了一些近六角形的位错网络,但它们在放大的照片中不很清楚,因此在这里未作分析.

在同图的 *O*, *P* 两区域的晶体,经退火后也出现一些位错网络,它们可能是 *A'* 与 *C* 或 *C'* 位错在运动过程中相遇,产生交互作用的结果,即由于

$$\begin{aligned}\frac{1}{2} [1\bar{1}0] + \frac{1}{2} [01\bar{1}] &\longrightarrow \frac{1}{2} [10\bar{1}], \\ \frac{1}{2} [1\bar{1}0] + \frac{1}{2} [\bar{1}01] &\longrightarrow \frac{1}{2} [0\bar{1}1].\end{aligned}$$

而形成六角形或近似六角形网络.这表明柏氏矢量为 $\frac{1}{2} \langle 110 \rangle$ 的 60° 全位错与柏氏矢量为 $\frac{1}{2} \langle 110 \rangle$ 的刃型全位错经交互作用后可合并成一段新的 60° 全位错,与原位错一起构成六角网络.

上列观察到的位错反应与 O'Hara 和 Schwuttke^[2] 在支蔓硅膜中所看到的位错反应不同,他们所描述位错反应与面心立方结构的 Lomer 和 Lomer-Cottrell 反应相同.

3) 由 Shockley 位错形成的位错网络 从生长态硅膜和退火硅膜所观察到的层错均以 $[0\bar{1}1]$, $[\bar{1}01]$ 和 $[11\bar{2}]$ (偶而也有 $[1\bar{1}0]$) 走向的半位错为边界,前二者和 $[1\bar{1}0]$ 走向的是刃型 Shockley 位错, $[11\bar{2}]$ 走向的或是螺型 Shockley 位错,或是如同第二节中所分析的 60° Shockley 位错. 这些位错相交也形成位错网络,但没有发现它们间的交互作用.

3. 层错象中的位错

从图 5(c), (d) 和图 6(b) 可观察到层错边界以内的象上存在位错线的象. 一种可能是不同 (111) 原子面中缺陷象的重叠. 然而从上述位错网络的形成中,全位错与半位错的交互作用可推断某些位错与层错或同处在一个 (111) 原子面上,或处在相邻近的原子面上,它们可以称之为层错象中的位错,这种位错 Yoshimatsu^[7] 在 Czochralski 法拉制的硅单晶中也曾看到过.

4. 热处理对层错组态和衬度的影响

比较图 5(a), (c) 和图 6(a), (b), 可清楚地看到热处理对层错组态和衬度的影响,下

面讨论这种现象。

我们的实验中观察到如下事实: (1) 有的硅膜在生长态就存在层错, 而有的则没有, 特别是 4 号试样, 主晶中有层错, 而孪晶中无层错; (2) 凡是生长态无层错的经热处理(即使两次热处理, 4 号试样就是这样) 都没有产生层错; (3) 长度很长且离同类位错较远的半位错在热处理中未产生运动, 而某些半位错较容易滑移运动; (4) 由第四节中第一小节讨论可知层错处在孪生薄片, 且孪生次数为 $n \geq 3$ 的奇数, 这表明所观察的层错象或是不同孪生薄片中层错的重叠, 或是同一孪生薄片不同 (111) 原子面上层错的重叠。

根据 Meieran 和 Blech^[4] 的观察, 硅膜中的层错有抽出型和插入型两类, 相应的衬度为

抽出型	黑	以 B 表示,
插入型	白	以 W 表示,
无层错	灰色背景	以 N 表示.

如果它们重叠, 则

$$\begin{aligned} N + B &= B, & N + W &= W, & N + N &= N, \\ B + W &= N, & B + B &= W, & W + W &= B. \end{aligned}$$

下面详细分析图 5(a), (c) 左边部分层错象的组态和衬度的变化。我们认为图 5(a) 所观察到的层错象是处在不同原子平面上两层层错的重叠, 两层层错的组态和衬度分别示于图 8(a), (b) 中。当把图 8(b) 重叠到图 8(a) 上, 根据

$$B + B = W, \quad B + W = N,$$

而

$$N + B = B, \quad N + W = W,$$

由于图 8(b) 层错象衬度大部为 N , 因此重叠象衬度基本上和图 8(a) 相同, 只有在相应于图 8(b) 中 B 区域处衬度发生变化, 其结果如图 8(c) 所示, 这和图 5(a) 所示的貌相图中的衬度相符。处在同一原子平面上距离相近的一对扩展位错在热处理时, 由于外应力作

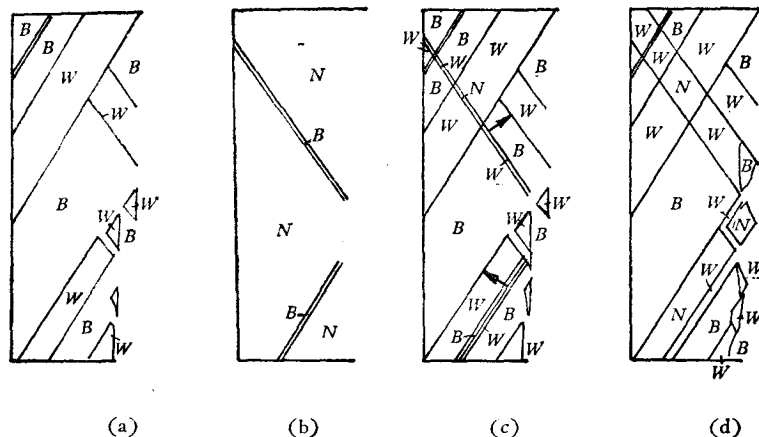


图 8 对应于图 5(a), (c) 之左边层错组态和衬度分析

(c) 为 (a), (b) 的重叠结果; (d) 为 (c) 中箭头所示位错在热处理时运动后的结果; 箭头指示运动的半位错和停止下来的位置

用,产生彼此分开的反向运动,如图 8(c) 中的箭头所示。换言之,由这对扩展位错包围的层错区域扩大,层错重叠的情况发生变化。半位错在运动中遇到同原子面上的异号位错可以相互抵消,若处于相邻近原子面上的异号位错,则会停止下来,图 8(c) 中箭头表示运动的位错和停止下来的位置,根据层错重叠的衬度法则可得到如图 8(d) 所示的层错组态和衬度,它与图 5(c) 相应区域所观察到的层错组态和衬度相同。由此分析可知每层中各区域层错的类型。

此外,在图 5(a), (c) 中位错束两边的层错组态和衬度的变化也可作类似的解释,这里运动的半位错的走向为 $[11\bar{2}]$, 而不是 $\langle 110 \rangle$ 走向的半位错。

5. 热处理对位错消象法则的影响

在热处理过程中杂质特别是那些快扩散的重金属杂质容易在位错线上沉淀,从而增强位错的应力场,改变应力场的各向异性,这种效应一方面可使貌相图中位错衬度加强,另一方面可使衬度变化不符合判断柏氏矢量的消象法则。

我们在实验中发现,经热处理后刃型位错 A 和螺型位错 F 以及 60° 位错 B 在 $22\bar{4}$ 和 333τ 貌相图(见图 7(b) 和图 5(c)) 中仍然消象,这表明杨氏矢量为 $\frac{1}{2} [1\bar{1}0]$ 的刃型位错、螺型位错和 60° 全位错热处理后仍然符合消象法则,但所观察到的 Shockley 半位错却不符合消象法则,换言之,在应消象的 $\bar{2}02$, $0\bar{2}2$ 貌相图中仍有一定的衬度,比较图 8(d) 和图 4(b) 就明显可见,这似乎表明杂质较容易缀饰这类位错,这个问题尚需进一步研究。

五、结 论

通过对生长态和退火硅膜的 X 射线貌相研究得到下述结论:

1. 观察到处于与膜表面平行的 (111) 面上有刃型、螺型和 60° 全位错,以及生长态硅膜中的大面积层错,包围层错的刃型 Shockley 半位错,还发现有 60° 、 30° 型 Shockley 半位错。
2. 热处理使一些位错运动,并发生交互作用形成近六边形的位错网络,观察到处在同一滑移面上位错交互作用时的几种位错反应。
3. 生长态硅膜中层错的组态和衬度在热处理后会发生变化,借助于 Shockley 半位错的运动和层错的重叠进行分析,得到较好的解释。
4. 此外,还观察到层错象中的位错;热处理对半位错的消象法则有影响,而对全位错无影响。

参 考 文 献

- [1] S. O'Hara, *J. Appl. Phys.*, **35**(1964), 409.
- [2] S. O'Hara, G. H. Schwuttker, *J. Appl. Phys.*, **36**(1965), 2475.
- [3] E. D. Jungbluth, *J. Appl. Phys.*, **36**(1965), 3112.
- [4] E. S. Meieran, I. A. Blech, *J. Appl. Phys.*, **38**(1967), 3495.

- [5] A. R. Lang, *Acta Crystal.* 12(1959), 249; *J. Appl. Phys.*, 30(1959), 1748.
- [6] S. Amelinckx, The Direct Observation of Dislocations, Suppl. 6, Solid State Physic (Academic Press Inc. New York, 1964).
- [7] M. Yoshimatsu, *Japan. J. Appl. Phys.*, 3(1964), 94.

X-RAY TOPOGRAPHIC STUDY OF DISLOCATIONS AND STACKING FAULTS IN SILICON WEB DENDRITES

YANG CHUAN-ZHENG JIANG XIAO-LONG XU SHUN-SHENG

(Shanghai Institute of Metallurgy, Academia Sinica)

ABSTRACT

. Dislocations and stacking faults in silicon webs were observed and analysed by means of X-ray projection topographic method. Large area stacking faults parallel to the web surface have been found in as-grown specimens. In addition to the edge-, screw-, and 60°-type total dislocations with Burgers vector $\frac{1}{2}\langle 110 \rangle$, and edge-type Shockley partial dislocations with Burgers vector $\frac{1}{6}\langle 112 \rangle$, 30°- and 60°-type Shockley partial dislocations with Burgers vector $\frac{1}{6}\langle 112 \rangle$ have also been discovered in the webs. These total dislocations move during heat treating at high temperatures and interact with other ones to form nearly hexagonal dislocation networks. Several dislocation reactions in a single slip plane have been found. The configuration and contrast of stacking faults in as-grown webs were changed by high temperature annealing. That can be explained by the moving of extended dislocation pairs, and the overlapping of stacking faults with each other in different layers. The extinction rule of image of Shockley partial dislocations was invalidated by the presence of impurity segregations. Dislocations within the stacking fault image were also observed. The experimentally observed results were analysed and discussed briefly.