

could be taken to be noninertial one, i. e. as practically instantaneously following the melting point isotherm. It was also shown that the macrohomogeneity of grown crystals could be achieved by stabilizing the modal picture of convective flows in the melt.

Изв. АН Армянской ССР, Физика, 17,26—30 (1982)

## РОЛЬ ПРИМЕСНЫХ АТОМОВ В ОБРАЗОВАНИИ ДЕФЕКТНОЙ СТРУКТУРЫ НА ПОВЕРХНОСТЯХ КВАРЦА ПОД ДЕЙСТВИЕМ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОГО ПОЛЯ

С. А. АДАМЯН, П. А. БЕЗИРГАНЯН

Как известно [1—3], кристаллы кварца выращивают в гидротермальных условиях методом температурного перепада. В качестве растворителей используют особые водные растворы различных гидроокисей щелочных металлов ( $NaOH$ ,  $KOH$ ,  $RbOH$ ,  $CsOH$ ), а также некоторых карбонатов ( $Na_2CO_3$ ,  $K_2CO_3$ ) с концентрациями от 3 до 15%. Выращенные кристаллы обычно содержат в небольших количествах неконтролируемые примеси ( $Al$ ,  $Fe$ ,  $Mg$  и др.), попадающие в раствор из шихты или за счет растворения стенок автоклава, а также щелочные металлы, водород и фтор, содержащиеся в используемых растворах.

Рост происходит на затравочных пластинах, которые не могут иметь произвольную ориентацию, так как рост осуществляется в определенных направлениях. Двумя наиболее часто используемыми ориентациями затравок являются направления  $Z$  и  $X$ . Скорость роста в этих направлениях наибольшая, а в направлении, перпендикулярном граням положительного  $R$  и отрицательного  $r$  ромбоэдров, составляет  $2/3$  скорости роста в  $Z$ -направлении, хотя скорость роста в направлении  $R$  значительно меньше, чем в направлении  $r$ . Концентрация примесей, проникающих в растущий кристалл, может меняться благодаря постепенному изменению скорости роста [4] или вследствие флуктуаций параметров, определяющих скорость роста. Концентрация примесей в разных секторах роста в монокристалле различна. Сектора роста при выращивании в  $Z$ -направлении имеют наименьшую концентрацию примесей  $Al$  и наибольшую концентрацию примесей  $Na$ , в  $+X$ -направлении эта концентрация несколько выше, а в  $-X$ -направлении — самая высокая.

Для однозначной интерпретации результатов нашего эксперимента полезно отметить, что альфа-кварц является пьезокристаллом с двумя отличными от нуля пьезоэлектрическими модулями ( $d_{11}$  и  $d_{11}$ ), он принадлежит кристаллическому классу  $3:2$  ромбоэдрической подсистемы и остается устойчивым в этой симметрии вплоть до  $573^\circ C$ . Элементарная ячейка кварца содержит три атома кремния и шесть атомов кислорода [5].

Кварц характеризуется структурой с хорошо выраженными ковалентными связями. Для этой структуры характерны большие каналы диаметром  $0,1$  нм, расположенные вдоль оси  $Z$ . Несколько меньшие каналы рас-

положены вдоль оси  $X$ . Такие большие каналы, характерные для стеклообразных кристаллов, могут легко заполняться внедренными ионами, так как при этом свободная энергия кристалла заметно не изменяется. Кроме того, малость ионных радиусов внедренных ионов позволяет предположить, что их подвижность достаточно велика [1—4]. В результате под действием приложенного электрического поля или за счет градиента концентрации при высоких температурах возможен обмен ионами вдоль этих каналов. Такой обмен ионами вокруг каналов сильно зависит от ориентации исследуемого образца.

Как следует из вышесказанного, в кристаллах кварца концентрация примесных атомов велика и они легко могут двигаться по образцу под внешним воздействием. В литературе очень мало данных о роли примесных атомов в изменении интенсивности дифрагированных рентгеновских лучей в пьезодеформированных образцах.

Целью настоящей работы является проведение таких исследований, которые позволили бы обнаружить роль примесных атомов в изменении интенсивности дифрагированных лучей. Для этого изготавливались образцы из кристаллов кварца, выращенных в различных условиях. Концентрация примесных атомов в различных образцах была неодинаковой. Были изготовлены срезы  $X$ ,  $X + \alpha$ ,  $Y$ ,  $Y + \beta$ ,  $AT$ . Исследования проводились по рентгенотопографическому методу Ланга.

В образцах срезов  $X$  дефектные каналы расположены параллельно большой поверхности образца, следовательно примесные ионы под влиянием электростатического поля, двигаясь по каналам, скапливаются у краев электродов, что рентгенографическое картографирование не может обнаружить (рис. 1а, б). Увеличение интенсивности наблюдается только у

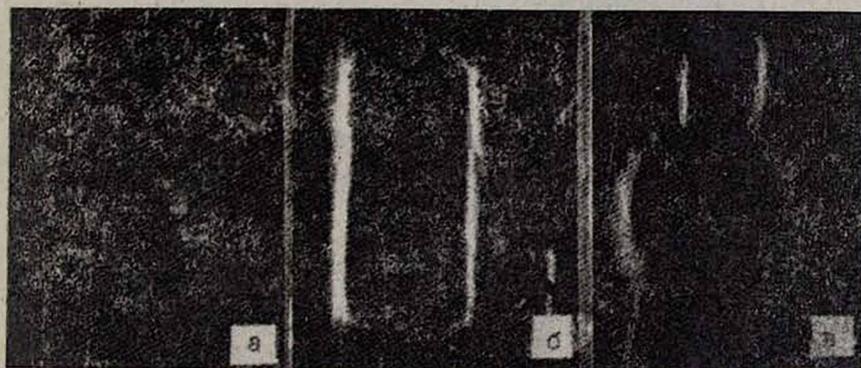


Рис. 1. Топограммы тонкого монокристаллического образца из кристалла кварца среза  $X$ : а — без поля; б — с полем напряженностью  $3 \cdot 10^5$  В/см; в — срез  $X + \alpha$  ( $10^4$  В/см); рефлекс  $(1010)$ , излучение  $Mo K_{\alpha}$ ,  $\times 5$ .

краев электродов, причиной чего является неоднородная деформация, возникающая вследствие взаимодействия подэлектродной пьезодеформированной области с окружающей недеформированной рамой. Таким образом, разница влияния неодинакового количества примесных атомов на интенсивность дифрагированных рентгеновских лучей под действием электростатического поля в образцах срезов  $X$  проявляется не четко.

Однако в асимметричном срезе  $X$  выход на поверхность образца имеют и дефектные каналы вдоль оси  $Z$ . Следовательно приложенное электростатическое поле приводит к образованию более выраженных зарядовых слоев на поверхностях образца, поэтому рентгенотопографические снимки таких образцов получаются более интенсивными (рис. 1*в*). Здесь уже наблюдается разница влияния неодинакового количества примесных атомов на интенсивность дифрагированных рентгеновских лучей под действием электростатического поля в виде локального изменения интенсивности в подэлектродной области.

Как уже говорилось выше, дефектные каналы расположены вдоль осей  $Z$  и  $X$  как параллельно, так и под некоторым углом. Следовательно скопление примесных ионов под влиянием приложенного электрического поля на поверхности образцов срезов  $У$  (рис. 2*а, б*) будет происходить легко и неравномерно. Неравномерное распределение ионов происходит как под электродами, так и вне электродов.

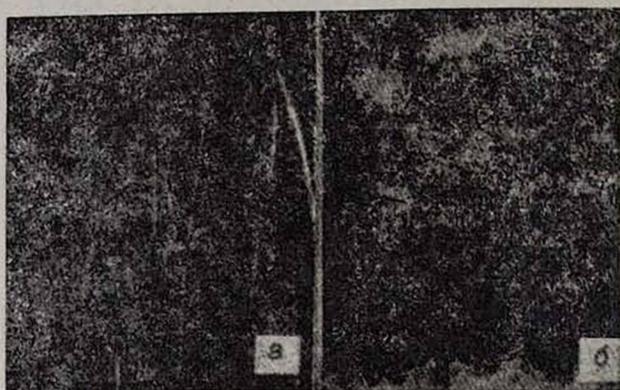


Рис. 2. Топограммы кварца среза  $У$ : *а* — без поля; *б* — с полем ( $5 \cdot 10^4$  В/см); рефлекс  $(11\bar{2}0)$ ,  $\times 5$ .

Одновременно с этим под электродом происходит пьезодеформация сдвига, что приводит к контурному изменению образца. В зависимости от величины подаваемого электрического поля контурное изменение в виде упругих напряжений будет распространяться по всему образцу. С распространением упругой волны примесные ионы располагаются по фронтам этой волны. Концентрация примесных ионов является наибольшей на фронтах упругой волны. В этих местах изменение параметра решетки также наибольшее, в силу чего интенсивность дифрагированных рентгеновских лучей наименьшая. На топограмме они видны как кривые линии с пониженной интенсивностью. Вышеуказанные результаты показывают, что контурная пьезодеформация сдвига, возникшая под электродом, не локализуется под электродом, и это позволяет примесным ионам участвовать в процессе распространения упругой деформации. Неодинаковое количество примесных атомов в различных образцах срезов  $У$  приводит к количественному различию интенсивностей на фронтах упругих волн.

В электронных приборах в качестве стабилизатора или частотного фильтра используются кварцевые пластинки косых срезов  $AT$ ,  $BT$ ,  $ЖГ$

и т. д. В них под влиянием электрического поля возникает пьезодеформация сдвига по толщине, которая локализуется под электродом (рис. 3а, б). Здесь уже большую роль в изменении интенсивности дифракционных рентгеновских лучей играют как сама пьезодеформация, так и изменение параметра решетки на поверхностях образца из-за наличия большого числа



Рис. 3. Топограммы кварца среза *AT*: а—с полем ( $6 \cdot 10^8$  В/см); б—без поля, рефлекс (1011),  $\times 5$ .

примесных атомов. Как в срезе *У*, так и в косом срезе *AT* неодинаковое количество примесных атомов также приводит к количественному различию интенсивностей дифракционных рентгеновских волн уже в подэлектродной области.



Рис. 4. Топограммы кварца среза *BT*: а—без поля; б—с полем, когда кристалл предварительно облучался через маску при наличии постоянного электрического поля ( $5 \cdot 10^4$  В/см),  $\times 5$ .

Слабое изменение интенсивности дифрагированных рентгеновских лучей происходит от подэлектродной области образцов *Z* срезов. Известно, что ось *Z* является неполярной. Следовательно в процессе изменения интенсивности участвуют только примесные атомы. При больших полях такое изменение становится наглядным у тех образцов, у которых количество примесных ионов больше. У краев электродов наблюдается повышенная

интенсивность, причиной этого, как показывает анализ многочисленных топограмм, является неоднородное поле, которое приводит к возникновению компонентов электрических полей  $E_x$  и  $E_y$  и, следовательно, к возникновению неоднородной пьезодеформации.

Роль примесных атомов становится более наглядной, когда исследуемый кристалл предварительно подвергается рентгеновскому ионизирующему облучению при однородном воздействии электростатического поля. Рентгеновское излучение является ионизирующим для структурных и примесных атомов. Образовавшиеся электроны и ионы под действием внешнего электрического поля образуют заряженные слои вблизи поверхности образца, вследствие чего изменяется параметр решетки, что и приводит к искривлению отражающих плоскостей. Интенсивность рассеянных рентгеновских лучей от таких кристаллов увеличивается почти в пять раз (рис. 4а, б).

Ереванский государственный  
университет

Поступила 14. II. 1981

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Цинобер Л. И., Ченцова Л. Г., Штернберг А. А. Рост кристаллов, 2, 61 (1960).
2. Корр О. С., Clark G. W. J. Crystal Growth, 2, 303 (1968).
3. Бутузов В. П., Братов Л. В. Кристаллография, 2, 5 (1957).
4. Alter U. et al. Kristall und Technik, 12, 617 (1977).
5. Gristorn A. Kristall und Technik, 8, 77 (1974).
6. Авунджян В. И. Кандидатская диссертация, Ереван, 1975.

ԽԱՌՆՈՒՐԴԱՅԻՆ ԱՏՈՄՆԵՐԻ ԴԵՐԸ ԷԼԵԿՏՐԱՍՏԱՏԻԿ ԴԱՇՏԻ  
ԱԶԴԵՑՈՒԹՅԱՆ ՏԱԿ ԿՎԱՐՑԻ ՄԱԿԵՐԵՎՈՒՅԹՆԵՐԻ  
ԹԵՐԻ ԿԱՌՈՒՑՎԱԾՔԻ ՁԵՎԱՎՈՐՄԱՆ ՊՐՈՑԵՍՈՒՄ

Ս. Հ. ԱԴԱՄՅԱՆ, Պ. Հ. ԲԵԶԻՐԳԱՆՅԱՆ

Փորձնական ճանապարհով հիմնավորված է, որ կվարցյա թիթեղի մակերևույթների վրա էլեկտրական դաշտի ազդեցության առկա առաջացող լիցքավորված շերտերը խիստ կերպով փոխում են մակերևույթների թերի կառուցվածքը: Այդ փոփոխությունը կախված է ինչպես ուսումնասիրվող նմուշում պարունակվող խառնուրդային իոնների քանակից, այնպես էլ նմուշի կողմնորոշումից:

THE ROLE OF IMPURITY ATOMS IN THE FORMATION  
OF DEFECT STRUCTURE ON QUARTZ SURFACES UNDER  
THE ACTION OF AN ELECTROSTATIC FIELD

S. H. ADAMYAN, P. A. BEZIRGANYAN

It has been shown by means of X-radiography that the role played by impurity atoms in the change of a defect structure under the action of an electrostatic field is large. At the piezodeformation of a specimen charged layers are formed near the surface that distort reflecting plates and strongly influence the intensity of scattered X-rays.