Записки Ленинградского ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции
и ордена Трудового Красного Знамени горного института им. Г.В.Плеханова,
т. LXXIУ, вып. 2, 1977 г.

О МОРФОЛОГИИ ОДНОГО ОБРАЗЦА ГЕРМАНИЯ ИЗ МУЗЕЯ ЛГИ

М.Д.ЛЮБАЛИН, Е.П.ДУДНИК, А.С.КУЗНЕЦОВ

В минералогический музей ЛГИ поступил эффектный образец германия, представляющий собой верхнюю часть крупного кристалла (рис.I), выращенного из расплава по методу вытягивания [3], устройство для реализации которого показано на рис.2.

Скорость роста кристалла на затравке, ориентированной в описываемом случае по [001], на первом этапе его формирования определяется темпом снижения температуры расплава, а форма движущейся поверхности раздела кристалл – расплав (фронта кристаллизации *2* на рис.2) зависит от соотношения осевого и радиального температурных градиентов, от формы изотермических поверхностей в расплаве.

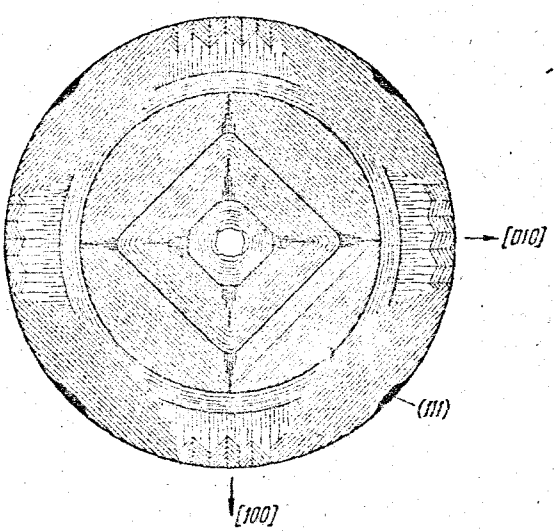


Рис. I. Схема строения верхней частй образца, грубо отвечающей положению грани куба. Незаштрихованная фигура в центре схемы – затравка. Не заштрихованы также некоторые участки поверхности, образованные перемещением ступеней {111} в направлениях <100>. Их строение аналогично более крупно штрихованным участкам поверхности на краю образца

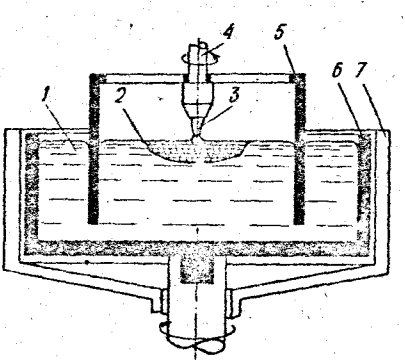


Рис.2. Схема устройства для выращивания кристаллов
1 – расплав; *2* – фронт кристаллизации; *3* – затравка; *4* – шток для вытягивания и вращения кристалла; *5* – графитовый стакан; *6* – тигель; *7* – нагреватель

В общем округлый фронт кристаллизации, как бы повторяющий форму изотермы, содержит в себе и макроскопические участки плоских граней. Из рис.I видно, что кристалл образуется в результате нарастания только тех поверхностей, нормали к которым составляют со свободной поверхностью расплава угол не менее 90^0. Эта поверхность является естественной границей роста кристалла. На ней, как на каком-либо сечении, проецируется в плоскую картину анатомия кристалла, его секториальное и зональное строения [2]. Однако поверхность ограничения кристалла, даже если она совпадает с рациональной кристаллографической плоскостью, не является обычной гранью, так как в объеме кристалла не оставляет собственной пирамиды нарастания [5].

Границей разрастания кристалла в радиальном направлении служит цилиндрическая поверхность стакана. После того как формируемый кристалл достигает этой границы, кристалл и стакан медленно, со скоростью 0,5–I мм/мин, поднимают. Следуя за изотермой плавления, кристалл выполняет весь объем стакана. Таким образом, кристалл в целом приобретает форму стакана, а его верхняя часть представляет собой почти плоскую фигуру, образованную пересечением свободной поверхности расплава фронтом роста.

Охарактеризуем форму этой фигуры с позиций современной кристалломорфологии [9] и определим записанную в ней генетическую информацию.

В связи с тем, что кристалл растет в тепловом поле с симметрией конуса $L_\infty \cdot \infty P$, его видимая симметрия $L_4 4P$ в соответствии с принципом Кюри [7] является результатом сложения симметрии теплового поля и идеальной симметрии кристалла $3L_4 4L_3 6L_2 9PC$. С осью L_∞ поля совпадает ось L_4 кристалла. Как указывает И.И.Шафрановский [8], совершенно правильное понятие об истинной конфигурации плоских кристаллических образований может быть получено с помощью простых реберных форм. Рассматриваемая нами верхняя часть кристалла, отвечающая положению грани куба, представлена комбинацией тетрагонального реберного пучка, тетрагональной рамки и тетрагональной звезды.

В ограничении кристаллов германия, выращиваемых из расплава, плоские поверхности {I00} обычно не устанавливаются, габитусными являются октаэдрические грани [4]. Степень их развития определяется скоростью роста и величиной положительного температурного градиента, действующего вдоль нормали к грани. Медленный рост и большие температурные градиенты [5, 6] способствуют округлению граней. При оплавлении на месте габитусных граней могут возникнуть вершинники [I].

Установленные положения позволяют предполагать, что верхняя часть кристалла (рис.I, 3) формировалась в следующем порядке.

I. Оплавление затравки, образование вершинников на месте габитусных граней {III}.

2. Уменьшение температуры расплава, появление на фронте кристаллизации медленно растущих граней {III}, составляющих со свободной поверхностью расплава угол, равный $I25^0I6'$. Следы пересечения этой поверхности гранями – прямые линии. В направлениях, отличающихся от <III>, кристаллическая поверхность успевает «догнать» отступающую изотерму плавления.

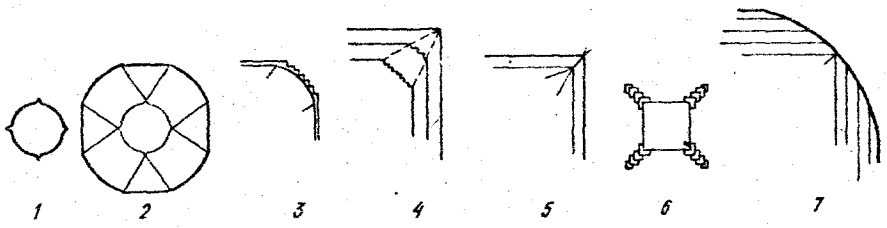


Рис.3. Схема формирования верхней части кристалла

3. Увеличение темпа снижения температуры расплава, возникновение переохлажденной области расплава у его границы с округлыми участками фронта роста, образование зубцов на этих участках, сложенных ступеньками граней {III}, образование антискелета.

4, 5. Повышение скорости перемещения ступенчатой поверхности, переохлаждающей примыкающий к ней расплав за счет возрастания теплоизлучения (ступенчатая поверхность действует как радиатор). Наблюдаемая форма ограничена прямыми ребрами.

6. Дальнейшая эволюция кристаллов при действии больших переохлаждений, приводящая в некоторых процессах к образованию скелетных форм [6].

7. Повышение температуры расплава, уменьшение скоростей роста во всех направлениях, дорастание кристаллической поверхности до изотермы плавления.

Из рис.I видно, что эти этапы в процессе формирования кристалла чередовались несколько раз. На граничной линии верхней части кристалла свободная поверхность расплава контактирует со стенкой стакана. Здесь расплав образует мениск, по касательным поверхностям к которому возникают четыре небольшие аллиптические «верхние" грани октаэдра. В объеме кристалла эти грани не образуют пирамид роста.

В заключение отметим, что штриховка на поверхности описываемого образца отражает колебательный характер процесса роста, обусловленный конвекционными потоками в расплаве, а также термокапиллярными явлениями.

Авторы благодарны профессорам Д.П.Григорьеву и И.И.Шафрановскому за обсуждение предложенной схемы.

Литература

1. Войцеховский В.Н., Мокиевский В.А. Некоторые вопросы взаимосвязи роста и растворения кристаллов. Зап. ВМО, 1965, ч. 94, вып. 1.

2. Григорьев Д.П. Расширение понятия о конституции минералов. В кн.: Кристаллография и минералогия (Труды Федоровской юбилейной сессии 1969 г.). Изд. ЛГИ, 1972.

3. Дудник Е.П., Кузнецов А.С., Левинзон Д.И. Применение способа Степанова для получения крупногабаритных профилированных монокристаллов германия. Изв. АН СССР. Серия физическая. 1976, т. 40, вып. 7.

4. Любалин М.Д., Мокиевский В.А. Форма кристаллов германия, полученных по Чохральскому. „Кристаллография", 1968, т. 13, № 4.

5. Любалин М.Д. Морфология кристаллов, вытягиваемых из расплавов. В кн.: Рост кристаллов. Т. 9. М., „Наука", 1972.

6. Любалин М.Д., Третьяков В.Н. Влияние тепловых потоков на форму кристаллов германия, выращиваемых из расплава. В кн.: Кристаллография и минералогия (Труды Федоровской юбилейной сессии 1969 г.). Изд. ЛГИ, 1972.

7. Шафрановский И.И. Внешняя симметрия реальных кристаллов и симметрия питающей среды. Зап. ВМО, 1954, ч. 83, вып. 3.

8. Шафрановский И.И. Кристаллы минералов. Ч. 1. Плоскогранные формы. Изд-во ЛГУ, 1957.

9. Шафрановский И.И. Лекции по кристалломорфологии. М., „Высшая школа", 1968.