

О Т З Ы В

**на автореферат диссертации Ермоченкова Ивана Максимовича
«Выращивания кристаллов диэлектриков из водных растворов при
низкочастотном вибрационном воздействии на жидкую фазу»,
представленной на соискание ученой степени кандидата химических
наук по специальностям 05.27.06 – технология и оборудование для
производства полупроводников, материалов и приборов электронной
техники**

Диссертационная работа Ермоченкова И. М. посвящена актуальной проблеме – поиску способа интенсификации процесса выращивания кристаллов из водных растворов на примере кристаллов сульфата калия кобальта гексагидрата $K_2Co(SO_4)_2 \times H_2O$ и молибдата лития Li_2MoO_4 . Выбор столь разнородных материалов, обладающих прямо противоположными закономерностями растворимости от температуры, позволил автору провести объективную оценку эффективности метода аксиальных низкочастотных вибраций (АНВ) на процесс выращивания кристаллов из водных растворов.

В работе диссидентом было проведено физическое моделирование процессов массопереноса в жидкой фазе при варьировании параметров вибрационного воздействия. Методом контролируемого отбора растворителя были выращены кристаллы Li_2MoO_4 в условиях естественной конвекции и АНВ воздействия. Методом постепенного снижения температуры были выращены кристаллы $K_2Co(SO_4)_2 \times H_2O$ в условиях естественной конвекции, роторного перемешивания и АНВ воздействия. Исследования оптических и структурных характеристики выращенных кристаллов показали, что АНВ воздействие на жидкую фазу позволяет вырастить кристаллы с улучшенными структурными и оптическими характеристиками при повышении массовой скорости выращивания. Таким образом результаты проведенного исследования подтвердили вывод о том, что АНВ воздействие на жидкую фазу, как расплава (как было показано ранее), так и раствора сложного химического состава позволяет интенсифицировать процесс выращивания кристаллов при сохранении или даже повышении их структурного качества за счет изменения термодинамики жидкой фазы.

Также в заслугу автору следует поставить разработку методики очистки сульфата калия, что является весьма сложной, но практически важной и актуальной проблемой.

Однако имеется ряд замечаний по тексту автореферата.

1. При изложении результатов главы 3 повсеместно используется термин «глубина перемешивания», однако нигде не объясняется, что имеется в виду и каковы же ее абсолютные значения.

2. На рисунках 2 и 4 частота обозначена буквой А, а амплитуда – f, тогда как обычно принято делать наоборот. В диссертации обозначения даны в традиционной манере.

3. Как следует из автореферата, докторант использовал 4 различных типа дисков: плоский, с П-образной образующей, кольцо и комбинированная система. Первые два типа дисков показаны на рис. 1 и 3, что такое кольцо – в общем, нетрудно представить. А вот что такое комбинированная система? Ни изображения, ни описания ее не представлено, хотя это было бы самым интересным.

4. В автореферате нигде не приводятся параметры роста кристаллов: температура, пересыщение, объем кристаллизатора, скорость роста (в самой диссертации эти данные приведены). Это большой недостаток для ростовой работы, в частности потому, что не позволяет оценить справедливость рассуждений автора об особенностях морфологии кристаллов, показанных на рис. 8. Однако в любом случае предположение о росте кристалла «3D зародышами» является революционным, поскольку ранее такого не отмечалось. Как известно, дислокационно-спиральный механизм (послойный рост) реализуется при любом пересыщении выше нуля, 2D зарождение (также послойный рост) требует пересыщения в несколько десятков процентов, а 3D зарождение – еще более высоких значений. При этом 3D зародыши должны были бы образовываться во всем объеме раствора, и здесь возникает вопрос: что заставляет их собраться в центре кристаллизатора, на платформе в кристаллический монолит? И вообще, это монокристалл, или поликристалл?

5. Уменьшение размера ступеней при АНВ на самом деле объясняется тем, что интенсивное перемешивание раствора увеличивает пересыщение на грани кристалла, при этом возрастает крутизна холмика, а значит, уменьшается ширина террас ступеней.

6. Страница 11. Значительное количество воды в кристаллах Li₂MoO₄, выращенных из растворов, скорее всего, связано с захватом включений раствора, которые являются наиболее распространенным дефектом при росте из раствора. Уменьшение воды в АНВ-кристаллах объясняется более интенсивным перемешиванием, что приводит к повышению пересыщения на грани и способствует формированию более регулярной структуры ступеней.

7. То же самое имеет место в случае кристаллов $K_2Co(SO_4)_2 \times 6H_2O$. Включения являются центрами рассеяния излучения, что снижает пропускание кристаллов. Повышение прозрачности АНВ-кристаллов, как указывалось выше, обусловлено более интенсивным перемешиванием раствора. Об этом же говорят результаты травления: представленные в диссертации на рис. 4.13 ямки травления носят недислокационный характер. Кстати, чтобы читателям не приходилось гадать, следовало привести фотографию этих ямок в автореферате. Тем не менее, этот результат показывает, что совершенство кристаллов действительно повышается при применении АНВ.

Несмотря на сделанные замечания, считаю, что автореферат адекватно отражает основные результаты диссертации. Считаю, что диссертация Ермоченкова Ивана Максимовича является законченной научно-квалификационной работой, которая по актуальности, научной новизне и практической значимости полученных результатов соответствует требованиям п.9-14 «Положения о присуждении ученых степеней», а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата химических наук по специальности 05.27.06 – технология и оборудование для производства полупроводников, материалов и приборов электронной техники

Заместитель директора
по научной работе, д. ф.-м. н.



Волошин Алексей Эдуардович

Федеральный научно-исследовательский центр
«Кристаллография и фотоника» Российской академии наук
117924, г. Москва, Ленинский пр., д. 57
адрес электронной почты: yoloshin@crys.ras.ru
телефон: +7 (499) 135-32-10