

Артемьев С. Р.

СУЩЕСТВУЮЩИЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ О НЕТРАДИЦИОННЫХ МЕТОДАХ ВЫРАЩИВАНИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ НИТЕВИДНЫХ КРИСТАЛЛОВ. ВЫТЯГИВАНИЕ ВИСКЕРОВ ИЗ РАСТВОРОВ

В материале статьи рассмотрены существующие представления об одном из нетрадиционных методов выращивания металлических нитевидных кристаллов как выращивание кристаллов из растворов, критично проанализированы процессы вытягивания вискеро́в из различных растворов и разными способами. Проанализированы вопросы влияния температуры процесса на ориентацию вискеро́в и роль количества добавок на конечный результат выращивания кристалла.

Ключевые слова: нитевидные кристаллы, методы выращивания, металлические «вискеро́в», выращивание из растворов, пассивирующие примеси.

1. Введение

Известны случаи, когда задачу, стоящую перед целой группой ученых и задачу достаточно не простую, решал ученый, казалось бы, совсем далекий от конкретной области знаний. Именно тогда появлялось простое, ясное, но необычное по природе решение научной проблемы.

Материал данной статьи — дань уважения к нетрадиционным методам выращивания нитевидных металлических кристаллов. Работая над ней, понимаешь, что видимо ранее важен был результат того или иного эксперимента априори, а не красота, насыщенность и информативность процесса изложения материала. Важно было его влияние на дальнейшие исследования итогов этих экспериментов, особенно если они изначально и нетрадиционные. В материале данной статьи речь пойдет о способах вытягивания металлических «усов» из растворов как о нетрадиционном способе выращивания металлических нитевидных кристаллов.

2. Анализ литературных данных и постановка проблемы

Нетрадиционные методы выращивания металлических нитевидных кристаллов издавна привлекали ученых разных стран. В [1] Е. Гиваргизовым, например, рассмотрены вопросы роста нитевидных и пластинчатых кристаллов из пара, в [2] достаточно монументально Г. Бережкова рассмотрела вопросы получения нитевидных кристаллов из газовой фазы.

В 1960 году в сборнике «Metallurgy of elemental and compound semiconductors» был опубликован первый литературный обзор, посвященный кристаллизации из расплава моно- и поликристаллических нитей и усов из таких полупроводниковых материалов, как Ge и Si.

В 1970 году «вытягивание» из расплава усов сапфира Al_2O_3 осуществили двое американских ученых из Массачусетса — А. Млавски и Г. Лабель. А немного позже, в начале 80-х годов прошлого столетия, рядом

исследователей было установлено, что нитевидные кристаллы Ge и Si могут быть «вытянуты» из соответствующего расплава в виде нитей и усов как дендритного, так и недендритного характера.

Источник [3] достаточно подробно описывает газофазную металлизацию металлических кристаллов через карбонилы, а в [4] обсуждаются вопросы осаждения металлических пленок и покрытий разложением металлоорганических соединений.

Непосредственно наблюдаемый под микроскопом рост железных вискеро́в, химически выращиваемых из газовой фазы описывается также в источнике [5], а новые пути повышения прочности металлических нитевидных кристаллов, получаемых, в том числе из расплавов, рассматриваются в [6].

В прошлом столетии проблематика вопроса данной статьи широко рассматривалась и обсуждалась на различных научных семинарах и конференциях, о чем указано, например, в [7, 8], где помимо прочих вопросов обсуждались и новые учебные издания, посвященные указанной проблематике, в частности [9].

Следует отметить, что помимо фундаментальных исследований, проведенных в прошлом столетии, в источниках 21 века описываются и более современные подходы к исследованию различных свойств нитевидных кристаллов. Так, в [10] авторами рассмотрены перспективные направления использования «вискеро́в» именно с учетом влияния их характеристик на развитие конкретного направления науки, в [11] рассмотрены вопросы технологий обработки нитевидных кристаллов, возможности создания биосовместимых материалов, а также исследованы свойства нитевидных кристаллов как наноматериалов.

3. Объект, цель и задачи исследования

Объект исследования — металлические нитевидные кристаллы.

Целью данной статьи есть проведение на основании анализа литературных источников обзора существующих

представлений об одном из нетрадиционных методов выращивания металлических нитевидных кристаллов — вытягивание металлических усов из различных растворов, с последующим критичным оценением положительных и отрицательных моментов проведения данных процессов различными способами.

В результате планируется выполнение следующих *задач исследования*:

1. Проведение литературного обзора по проблеме исследования.
2. Анализ результатов получения кристаллов способом охлаждения различных растворов.
3. Процесс роста высыхающих усов на влажных кристаллах.
4. Влияние пассивации (добавок, примесей) на различные способы выращивания металлических нитевидных кристаллов.
5. Анализ позитивных и негативных сторон способа выращивания усов испарением раствора через пористые перегородки и среды.

4. Результаты исследований вытягивания металлических вискерсов из расплавов

Выращивание нитевидных кристаллов из растворов обычно осуществляется 4 способами [12]:

1. Путем быстрого охлаждения насыщенного раствора соли.
2. Путем медленного упаривания (высыхания) влаги раствора на поверхности кристалла.
3. Кристаллизацией на затравке в растворе.
4. Кристаллизацией через поры.

В 1959 году ученым Ц. Джьюали был предложен способ получения усов и пластинчатых кристаллов КВг быстрым охлаждением насыщенного раствора бромистого калия [13]. Аналогичным образом учеными Дж. Ньюкиркком и Дж. Гордоном были выращены усы КВг, КI, CdI₂ и MgSO₄·7H₂O, NiSO₄·7H₂O и ZnSO₄·7H₂O [14].

Сущность способа заключалась в том, что если приготовить при температуре +75 °С насыщенный раствор КВг быстро охладить до температуры +35 °С, то в нем начинают появляться усы КВг. В первые секунды образуются очень гибкие усы, диаметр которых составляет до 10 мкм, а длина — до 1 см. Если процесс охлаждения продолжать, то через 15 секунд усы начинают утолщаться и достигают диаметра в 1000 мкм приблизительно за 10 минут. При этом их длина практически не меняется, однако гибкость полностью теряется.

Через 10–15 минут после завершения основной стадии кристаллизации нитевидные кристаллы КВг начинают появляться вновь. Если при этом начать опять снижать температуру, то количество иголок КВг будет постепенно увеличиваться. Достигнув определенного, так называемого, «порога переполнения» объема, рост усов КВг становится уже лавинообразным. Затем данный рост практически прекращается, и расти будут только лишь единичные кристаллы усов. И, наконец, на завершающей стадии появляются усы, закрученные по спирали вокруг своей оси роста.

Ученый Ньюкирк, руководивший проведением эксперимента, всегда придерживался точки зрения, что рост нитевидных кристаллов солей металлов при быстром охлаждении их насыщенных растворов происходит в дислокациях, возникающих на частицах посторонних примесей [15].

Исследователь Дьюлаи [16] также разделяет эту точку зрения и считает, что рост нитевидных кристаллов происходит на винтовых дислокациях, которые на первых стадиях кристаллизации возникают из кубических кристаллических зародышей. На последней стадии, когда образуются закрученные нитевидные кристаллы, зародышами становятся расщепленные тонкие пластинки, дающие винтовые дислокации с большим вектором Бюргерса.

Рост усов NaClO₃ на влажном, медленно высыхающем кристалле в 1955 году впервые описал японский ученый Н. Като, о чем, в частности указывает также и В. Сыркин в своей монографии. Като зафиксировал образование на монокристаллах NaClO₃, вынутых из питающего раствора и помещенных в эксикатор многочисленных усов диаметром от 1 до 20 мкм и длиной до 15 мм. Рост усов NaClO₃ прекращался только после полного высыхания следов раствора на поверхности граней кристалла.

Ориентация усов существенно зависела, как правило, только от температуры. Так, при температуре процесса в 10–20 °С усы росли в основном в направлениях <100> и <100> – <110>, а при температуре в 25–60 °С только в направлении <111>. Проведенные исследования показали, что наличие примесей влияет на такой способ выращивания усов.

В 1960 г. другой японский ученый С. Ямамото установил, что рост усов KCl на влажном, медленно высыхающем кристалле KCl значительно ускорялся при введении в раствор примесей Ca²⁺ или S²⁻ [17]. По мнению исследователя Г. Сирса, рост усов на поверхности высыхающего влажного кристалла можно объяснить переносом масс по осевой винтовой дислокации, возникающей из-за гидродинамического течения, имеющего место в мономолекулярном слое раствора соли на внешней грани исходного кристалла-подложки. Движущей силой процесса при этом выступает градиент поверхностного натяжения, возникающий из-за наличия градиента концентрации [18].

Возникновение и рост усов в растворах, содержащих затравки в виде органических веществ, наблюдали и изучали многие исследователи. Наиболее исчерпывающие исследования в этом направлении были осуществлены Г. В. Бережковой, о чем указано в ее монографии [2].

Оказалось, что образованию усов именно в этих условиях способствуют содержащиеся в растворах примеси длинноцепочечные молекулы, такие как поливиниловый спирт, жирные кислоты и ряд др. Так, при выращивании усов КВг подложка-затравка (кристалл КВг) помещалась в насыщенный при комнатной температуре раствор, содержащий небольшое количество примесей поливинилового спирта [–CH₂SA(OA)–]_n.

По истечении некоторого времени на всех плоскостях прямоугольной подложки вырастали перпендикулярно поверхности ровные тонкие усы КВг. Рост усов фиксировался кинокамерой на пленке, эти данные статистически обрабатывались. В итоге было отмечено, что возникновение и рост усов КВг, в первую очередь, наблюдался на ступенях скола, царапинах и прочих дефектных местах поверхности подложки. На свежих механических повреждениях подложки образовывалось значительно большее количество усов и росли они значительно быстрее. Особенно интенсивный рост усов КВг наблюдался на подложке, обработанной микрошкуркой. Химическое травление, наоборот, ингибировало

поверхность, и усы после такой обработки подложки вообще не росли.

Количество присадки $[-\text{CH}_2\text{CH}(\text{OH})-]_n$ оказывало очень сильное влияние на рост усов, то есть чем больше была концентрация поливинилового спирта, тем быстрее росли усы, тем они были тоньше и длиннее. Рекордная длина усов КВг при этом достигала до 50 см.

Достаточно интересен способ выращивания усов испарением раствора через пористые перегородки и среды, например, через керамику, целлофан, коллодий, силикагель и др. В 1959 г. советский ученый Э. М. Надгорный предложил достаточно простой способ выращивания усов с использованием обычных целлофановых пакетов [19]. Суть способа заключалась в том, что слегка недонасыщенный двухкомпонентный раствор LiCl и KF помещался в мешочек из целлофана, через поры которого происходило очень медленное испарение раствора. Через один-два дня на наружной поверхности мешочка появлялись усы KCl , а на внутренней поверхности мешочка усы LiF диаметром в 3–5 мкм и длиной до 3 мм.

Г. В. Бережкова с сотрудниками своей лаборатории выбрала для выращивания усов именно по этому способу другой пористый материал — силикагель. Процесс роста нитевидных кристаллов самых разнообразных солей — алюмокалиевых и хромокалиевых квасцов, NaCl , KCl и NH_4Cl фиксировался с помощью кинокамеры. Усы вырастали на поверхности пропитанного соответствующим насыщенным раствором силикагеля. По мере испарения раствора его концентрация возрастала, и начинался рост усов. После полного высыхания рост усов полностью прекращался. Опыты показали, что чем быстрее сохнет силикагель, тем больше образуется усов — «коротышек», т. е. толстых кристаллов неправильной формы. Если же поместить пористый силикагель в закрытый сосуд, то рост кристаллов будет происходить гораздо медленнее, но зато образуются очень тонкие (до 10 мкм) и длинные (2–3 см) усы.

На рис. 1 показаны схема и кинетика роста усов алюминиевых квасцов (данные взяты из [20]).

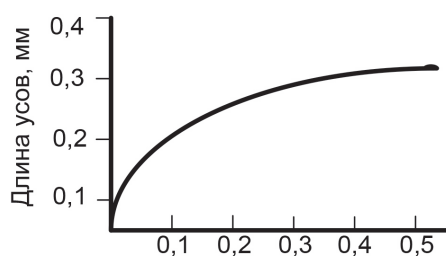


Рис. 1. Выращивание усов алюминиевых квасцов через поры силикагеля, кинетика роста (скорость 0,53 мкм/с)

Как видно из рис. 1, рост усов через пористую перегородку происходит благодаря направленной «подпитке» растущего кристалла через поры подложки. При этом нитевидный кристалл растет не с вершины, а с основания, а его диаметр находится в прямой зависимости от диаметра поры. При этом скорость роста уса не зависит от диаметра поры, так как при расширении размера поры увеличивается и количество питающего раствора, поступающего к растущему кристаллу.

Интересным является тот факт, что пористая перегородка саморегулирует формирование зародышей

в каждой из пор. Проведенные исследования показали, что поднимаясь по капиллярным порам подложки, насыщенный раствор пересыщается за счет быстрого испарения у наружной поверхности, что автоматически приводит к образованию зародыша уса. При этом кристаллизация продолжается уже в зазоре между зародышем (кристаллом) и поверхностью поры, куда проникает питающий раствор. Проведенная киносъемка показала, что из-за неравномерной кристаллизации растущий ус покачивается и держится не прочно.

При достижении оптимальной длины он, как правило, обламывается у основания и падает. Именно такие «упавшие» кристаллы иногда способствуют возникновению и росту пластинчатых кристаллов, являясь своеобразной затравкой. Это явление было описано Г. В. Бережковой для кристаллов КВг в своей монографии [2] и С. Амелинском для усов NaCl , выращенных именно сквозь поры целлофана [21].

Ученые Матей и Сирбе [22] наблюдали образование нитевидных кристаллов CaCl_2 , KCl , KBr , $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$, CsCl длиной до 1 см на нижней поверхности кристалликов, выросших при испарении раствора в чашке Петри, покрытой изнутри слоем парафина.

Ученый Сирс [23] предположил, что рост кристаллов происходит на осевой винтовой дислокации путем переноса масс, вследствие гидродинамического течения в мономолекулярном слое раствора, всегда существующем во влажной атмосфере на поверхности кристалла.

Кристаллы в форме тонких нитей легко образуются также в растворах, содержащих в качестве примесей вещества с длинноцепочечными молекулами, например, поливиниловый спирт [24], жирные кислоты [25] и др. Этим способом были получены нитевидные кристаллы рекордной длины — до 50 см.

В насыщенный при комнатной температуре раствор с сотыми долями процента примеси помещается кристалл-затравка, на котором вырастают нитевидные кристаллы в форме длинных, хорошо ограниченных иголок или тонких пластинок, сохраняющих ориентировку затравки и перпендикулярных ее граням (показано на рис. 2).

Подробное исследование влияния различных факторов на кристаллизацию в форме нитей было проведено Есенски и Хартманном [26], а также Г. Бережковой и В. Рожанским [27].

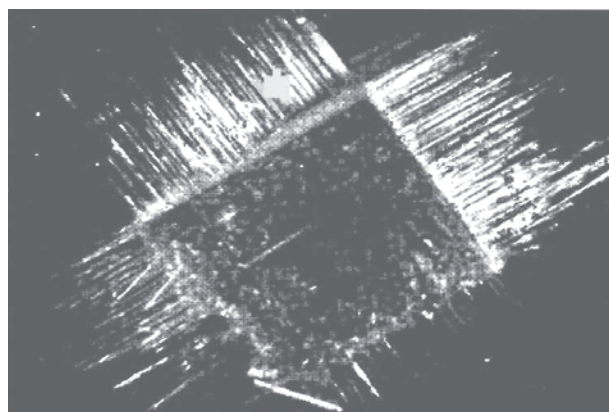


Рис. 2. Нитевидные кристаллы КВг, выращенные на кристалле-затравке из раствора, содержащего поливиниловый спирт [28]

Условия роста на кристалле-затравке сильно зависят от состояния ее поверхности. В первую очередь, рост наблюдается на ступенях скола и царапинах. На свежих поверхностях скола затравки образуется значительно большее количество нитевидных кристаллов, чем на старых. На предварительно протравленной поверхности нитевидные кристаллы не вырастают вообще.

Большое влияние на рост оказывало и количество поливинилового спирта в растворе: чем больше концентрация поливинилового спирта, тем тоньше и длиннее вырастают нитевидные кристаллы, тем больше их количество и тем быстрее они растут. Подобное влияние примеси, определяющей рост в виде нитей, наблюдали Амелинкс на ряде галогенидов и Сирс при выращивании нитевидных кристаллов LiF из смеси растворов LiCl и KF с добавлением FeF_3 [29].

При росте из растворов с пассивирующими примесями также как при электролизе, ярко выступает роль примеси как адсорбента, блокирующего рост на боковой поверхности. Нитевидные кристаллы могут расти в таких растворах не только при малых пересыщениях, но и при высоких.

Пассивирующие примеси могут также встраиваться в растущий кристалл. Это подтверждается наблюдениями образования пустот в таких нитевидных кристаллах при отжиге и под пучком электронного микроскопа [30].

Кроме того, присутствие их в кристалле было показано и прямым экспериментом. Учеными проводилось сравнение спектров поглощения водного раствора поливинилового спирта и водного раствора, в котором были растворены нитевидные кристаллы NaCl, выращенные в присутствии поливинилового спирта. В обоих случаях присутствовали полосы поглощения, соответствующие поливинилово спирту [30].

Кинетика образования нитевидных кристаллов KBr из растворов с пассивирующими примесями исследовались Г. Бережковой и В. Рожанским методом замедленной микрокиносъемки.

На рис. 3 приведены последовательные кинокадры образца с двумя темными включениями (выделены кружком), из которых хорошо видно, что включения находятся на одном и том же расстоянии от основания кристалла, а рост его происходит путем присоединения кристаллизующегося вещества к вершине.

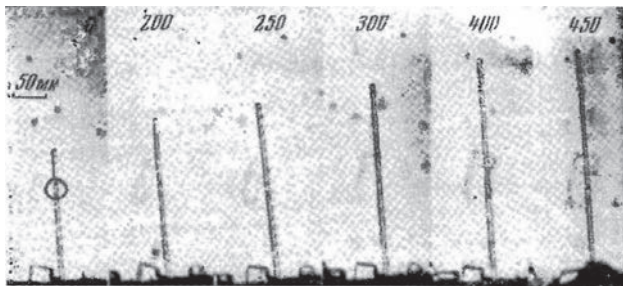


Рис. 3. Последовательные кинокадры роста нитевидного кристалла KBr [27]

5. Выводы

Таким образом, в материале данной статьи на основании анализа литературных источников был рассмотрен процесс такого нетрадиционного метода выращивания

металлических нитевидных кристаллов, как вытягивание металлических усов из различных растворов.

В результате выяснено, что:

- анализ литературных данных показал, что данной проблеме в современных условиях уделяется достаточно пристальное внимание, что, бесспорно, говорит об актуальности темы исследования;
- если в приготовленный при определенной температуре насыщенный раствор быстро охладить до более низкой температуры, то в нем появляются усы соответствующего металла. В первые секунды образуются очень гибкие усы, а если процесс охлаждения продолжить, то усы начинают утолщаться и достигают определенного диаметра за несколько минут. При этом их длина практически не меняется, а гибкость полностью теряется;
- после завершения основной стадии кристаллизации нитевидные кристаллы начинают появляться вновь и если при этом начать снижать температуру, то количество иголок кристалла будет постепенно увеличиваться;
- достигнув определенного, так называемого, «порога переполнения» объема, рост усов становится лавинообразным, после чего практически прекращается, на завершающей стадии появляются усы, закрученные по спирали вокруг своей оси роста;
- рост нитевидных кристаллов солей металлов при быстром охлаждении их насыщенных растворов происходит на дислокациях, возникающих на частицах посторонних примесей;
- рост усов кристаллов, как правило, прекращается только после полного высыхания следов раствора на поверхности граней кристалла, при этом ориентация усов существенно зависит только от температуры;
- количество присадки (добавки, пассивировки) оказывает очень сильное влияние на рост усов, то есть чем больше была концентрация раствора, тем быстрее растут усы, тем они тоньше и длиннее.

Литература

1. Гиваргизов, Е. И. Рост нитевидных и пластинчатых кристаллов из пара [Текст] / Е. И. Гиваргизов. — М.: Наука, 1977. — 304 с.
2. Бережкова, Г. В. Нитевидные кристаллы [Текст] / Г. В. Бережкова. — М.: Госиздат, 1969. — 158 с.
3. Сыркин, В. Г. Карбонилы металлов [Текст] / В. Г. Сыркин. — М.: Химия, 1983. — 200 с.
4. Грибов, Б. Г. Осаждение пленок и покрытий разложением металлоорганических соединений [Текст]: учеб. пособие / Б. Г. Грибов, Г. А. Домрачев, Б. В. Жук. — М.: Наука, 1981. — 322 с.
5. Габор, Б. Непосредственно наблюдаемый под микроскопом рост железных вискерсов, химически выращиваемых из газовой фазы [Текст] / Б. Габор, В. Блочер // J. Appl. Phys. — 1969. — № 7. — Р. 224–226.
6. Иванова, В. С. Новые пути повышения прочности металлов [Текст]: учеб. пособие / В. С. Иванова, Л. К. Горденко. — М.: Наука, 1964. — 118 с.
7. Постников, В. С. Нитевидные кристаллы и тонкие пленки [Текст]: материалы II Всесоюзной науч. конф. «Нитевидные кристаллы» / В. С. Постников. — Воронеж: ВПИ, 1975. — 577 с.
8. Нитевидные кристаллы для новой техники [Текст]: материалы III Всесоюзной науч. конф. — Воронеж: ВПИ, 1979. — 231 с.
9. Аммер, С. А. Нитевидные кристаллы [Текст]: учеб. / С. А. Аммер, В. С. Постников. — Воронеж. политех. ин-стит., 1974. — 284 с.

10. Шишелова, Т. И. Нитевидные кристаллы [Текст] / Т. И. Шишелова, Н. Е. Степанова, Д. А. Плынская, М. А. Беляева // Успехи современного естествознания. — 2009. — № 8. — С. 12–13.
11. Померанцева, Е. А. Нитевидные кристаллы [Текст]: материалы Всероссийской конференции «Исследования и разработки по приоритетному направлению развития науки, технологий и техники «Индустрия наносистем и материалы», 18–19 января 2007 года, г. Москва / Е. А. Померанцева, М. Г. Козлова, Л. С. Леонова, Ю. А. Добровольский, Т. Л. Кулова, А. М. Скундин, Е. А. Гудилин, Ю. Д. Третьяков // Международный научный журнал «Альтернативная энергетика и экология». — 2007. — № 1(45). — С. 126–127.
12. Gyulai, Z. Z. Phys. [Text] / Z. Gyulai. — 1954. — № 138. — P. 317.
13. Gordon, J. E. Brit. Commune and Electronics [Text] / J. E. Gordon. — 1960. — № 7. — P. 182.
14. Gordon, J. E. Endeavour [Text] / J. E. Gordon. — 1964. — № 23. — P. 8.
15. Newkirk, J. B. Growth of potassium halide crystals from aqueous solution [Text] / J. B. Newkirk, G. W. Sears // Acta Metallurgica. — 1955. — Vol. 3, № 1. — P. 110–111. doi:10.1016/0001-6160(55)90031-6
16. Gyulai, Z. Kristallkeimbeobachtungen in Wässrigen KBr- und NaCl-Lösungen [Text] / Z. Gyulai // Acta Physica. — 1959. — Vol. 10, № 4. — P. 371–388. doi:10.1007/bf03159823
17. Yamamoto, S. Science reports of the Research Institutes, Tohoku University, Ser 1 [Text] / S. Yamamoto. — 1960. — № 44. — P. 107.
18. Sears, G. A growth mechanism for mercury whiskers [Text] / G. Sears // Acta Metallurgica. — 1955. — Vol. 3, № 4. — P. 361–366. doi:10.1016/0001-6160(55)90041-9
19. Надгорный, Э. М. УНФ [Текст] / Э. М. Надгорный, Ю. А. Осипьян, М. Д. Перкас, В. М. Розенберг. — М.: Госиздат, 1959. — № 67. — С. 625.
20. Бережкова, Г. В. Диссертация доктора химических наук [Текст] / Г. В. Бережкова. — М., 1964. — 168 с.
21. Amelincks, S. J. Appl. Phys. [Text] / S. Amelincks. — 1958. — № 29. — P. 1610.
22. Matthai, G. O. Z. Naturforsch [Text] / G. O. Matthai, G. Syrbe. — 1957. — № 12a. — P. 174.
23. Sears, G. W. Fibrous Growth of NaClO₃ [Text] / G. W. Sears // The Journal of Chemical Physics. — 1957. — Vol. 26, № 6. — P. 1549. doi:10.1063/1.1743578
24. Evans, C. C. Rept. Cambridge [Text] / C. C. Evans, D. M. Marsh. — 1964. — № 55.
25. Westwood, A. R. C. Etch-Tunnels in Lithium Fluoride Crystals [Text] / A. R. C. Westwood, H. Rubin // Journal of Applied Physics. — 1962. — Vol. 33, № 6. — P. 2001. doi:10.1063/1.1728881
26. Есенски, Б. Некоторые замечания о росте и механических свойствах нитевидных кристаллов NaCl [Текст] / Б. Есенски, Э. Хартманн // Кристаллография. — 1962. — Т. 7. — С. 433–436.
27. Бережкова, Г. В. К вопросу о механизмах роста ионных нитевидных кристаллов из растворов. [Текст] / Г. В. Бережкова, В. Н. Рожанский // Кристаллография. — 1963. — Т. 8. — С. 420–426.
28. Sears, G. W. Strength of lithium fluoride whiskers [Text] / G. W. Sears // Journal of Physics and Chemistry of Solids. — 1958. — Vol. 6, № 2–3. — P. 300–301. doi:10.1016/0022-3697(58)90109-4
29. Doremus, R. H. Growth and perfection of crystals [Text] / R. H. Doremus, B. W. Roberts, D. Turnbull. — New York: Wiley, 1958. — 609 p.
30. Лидер, В. В. Физика твердого тела [Текст] / В. В. Лидер, Г. В. Бережкова, В. Н. Рожанский. — 1963. — № 5. — С. 1479.

ІСНУЮЧІ УЯВЛЕННЯ ПРО НЕТРАДИЦІЙНІ МЕТОДИ ВИРОЩУВАННЯ МЕТАЛЕВИХ НИТКОПОДІБНИХ КРИСТАЛІВ. ВИТЯГУВАННЯ ВІСКЕРІВ З РОЗЧИНІВ

В матеріалі статті розглянуто існуючі уявлення стосовно одного з нетрадиційних методів вирощування металевих ниткоподібних кристалів, вирощування з розчинів, критично проаналізовано процеси витягування віскерів з різних розчинів різними способами. Розглянуто вплив температури процесу на орієнтацію віскерів та роль вагової кількості домішок на підсумковий результат процесу вирощування.

Ключові слова: ниткоподібні кристали, методи вирощування, металеві «віскери», вирощування з розчинів, пасивуючі домішки.

Артемьев Сергей Робленович, кандидат технических наук, доцент, кафедра охраны труда и техногенно-экологической безопасности, Национальный университет гражданской защиты Украины, Харьков, Украина, e-mail: sergey.artemey.1967@mail.ru.

Артем'єв Сергій Робленович, кандидат технічних наук, доцент, кафедра охорони праці та техногенно-екологічної безпеки, Національний університет цивільного захисту України, Харків, Україна.

Artemev Sergey, National University of Civil Defense of Ukraine, Kharkiv, Ukraine, e-mail: sergey.artemey.1967@mail.ru

УДК 666.293.522

DOI: 10.15587/2312-8372.2015.43291

**Рижова О. П.,
Хохлов М. А.,
Кислична Р. І.**

БЕЗФТОРИСТІ ЯСКРАВОЗАБАРВЛЕНІ СКЛОПОКРИТТЯ ЗІ ЗНИЖЕНОЮ ТЕМПЕРАТУРОЮ ВИПАЛУ

Досліджено вплив Fe₂O₃ і MnO₂ на властивості фрит та оптико-колірні характеристики емалевих покриттів червоного кольору. Встановлено оптимальні концентрації оксидів заліза та марганцю у складі дослідних емалей. Отримано гладкі, щільні, яскравозабарвлені склопокриття червоного кольору з гарним блиском та заданими колірними характеристиками, які можуть бути рекомендовані для нанесення їх на сталеві вироби господарчо-побутового призначення.

Ключові слова: силікатна емаль, яскравозабарвлені покриття, оксид заліза, оксид марганцю.

1. Вступ

Склоемалеві покриття, які володіють комплексом цінних властивостей широко застосовуються для захисту

від корозії металу, а також для покращення декоративних властивостей сталевих виробів. Сучасний рівень розвитку емалювального виробництва включає постійне поліпшення якості виробів, розширення асортименту та