

СТАНОК МОДЕЛИ LCS-600 ФИРМЫ «LIEBHERR»

Станок модели LCS-600 фирмы «LIEBHERR» (Германия) отличается высокой производительностью и универсальностью.



Станок модели LCS-600 предназначен для шлифования прямозубых и косозубых зубчатых шестерен методом обката и методом профильного шлифования. Станок оснащен системой управления фирмы

Siemens. В качестве режущего инструмента применяются высокопористые круги фирмы WINTERTHUR. При механической обработке зубчатых шестерен методом профильного шлифования применяется два шлифовальных круга с разным параметром пористости и величиной абразивного зерна, а процесс обработки ведется без переустановки детали.

Возможность работы на станке LCS-600 как методом обката, так и по технологии профильного шлифования делает производство более гибким, позволяя использовать преимущества того или иного метода в конкретных условиях производства в том числе при обработке шестерен с максимальными параметрами зуба. Данный метод позволил увеличить производительность труда, практически исключить погрешность шага, а применение двухзаходных кругов позволило сократить время обработки на 30–40 %.

По материалам:
<http://www.belaz.by>



ПРИКЛАДНЫЕ НАУЧНЫЕ РАЗРАБОТКИ

УДК 548.31

DOI: 10.15587/1729-4061.2015.42399

СУЩЕСТВУЮЩИЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ О ВЫРАЩИВАНИИ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ НИТЕВИДНЫХ КРИСТАЛЛОВ В ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ПОЛЕ

Артемьев Сергей Робленович, кандидат технических наук, доцент

Кафедра охраны труда и техногенно-экологической безопасности, Национальный университет гражданской защиты Украины, ул. Чернышевского, 94, г. Харьков, Украина, 61000

E-mail: sergey.artemev.1967@mail.ru

В материале статьи рассмотрены существующие представления об одном из нетрадиционных методов выращивания металлических нитевидных кристаллов, как их выращивание в электрическом поле. Исследована роль примесей на процесс роста кристаллов. Критично рассмотрены положительные и отрицательные стороны проведения процесса электролиза во время выращивания данной группы кристаллов.

Ключевые слова: нитевидные кристаллы, методы выращивания, металлические «вискеры», процесс электролиза, пассивирующие добавки.

В матеріалі статті розглянуто існуючі уявлення стосовно одного з нетрадиційних методів вирощування металевих ниткоподібних кристалів, як їх вирощування в електричному полі. Досліджено вплив присутності домішок на процес зростання кристалів. Критично розглянуто недоліки та позитивні сторони проведення процесу електролізу під час вирощування даної групи кристалів.

Ключові слова: ниткоподібні кристали, методи вирощування, металеві «віскери», процес електролізу, пасивуючі домішки.

1. Введение

Когда речь идет об электричестве, то прежде всего вспоминается хорошо известный еще со школы процесс электролиза. С помощью электролиза обычно осуществляют металлизацию подложек, которые проводят электрический ток. В раствор соли металла, которым требуется покрыть подложку, помещаются электроды, подсоединенные к источнику постоянного тока. Отрицательным электродом служит подложка. Положительно заряженные ионы металла перемещаются к ней, захватывают электроны и, превращаясь в нейтральные атомы, оседают на подложке, образуя плотное металлическое покрытие (данный процесс показан на **рис. 1**).

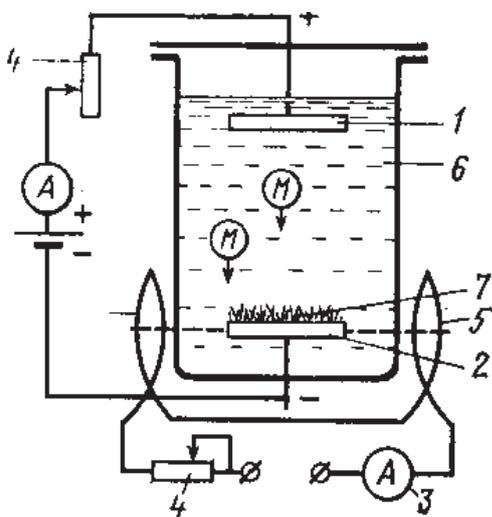


Рис. 1. Схема электрического осаднения металла:
1 — анод; 2 — катод (подложка); 3 — амперметр;
4 — автотрансформатор; 5 — катушка; 6 — водный раствор соли; 7 — металлические усы

Известно, что в области малых токов металл на катоде-подложке иногда осаждается в форме именно нитевидных кристаллов. Особенно бурный рост таких нитей, как показали результаты многочисленных экспериментов, имеет место, когда электролит достаточно «старый» или когда в него случайно (или преднамеренно) были внесены примеси каких-либо органических веществ.

Эти наблюдения и послужили основой для проведения специальных исследований по созданию жидкофазного метода выращивания металлических усов в электрическом поле. Наиболее фундаментальными в этой области являются работы [1, 2].

2. Анализ литературных данных и постановка проблемы

В середине прошлого столетия выращивание металлических «вискерсов» осуществлялось, в основном, из паров хлоридов и других галогенидов металлов и неметаллов. Это всегда создавало массу

неудобств, так как трудно придумать более непригодные исходные соединения для этого, чем хлориды. Именно они при восстановительном термораспаде в среде водорода обязательно образуют агрессивные газы, несущие аппаратуре и магистралям коррозию.

О том, как использовать легколетучие исходные соединения металлов, более удобных, чем галогениды для выращивания металлических усов в то время являлся вопросом из вопросов. Так, например, американские ученые Т. Габор и Дж. Блочер, изучая данную проблему, натолкнулись в 1960 году на [2] и поразились возможностям этих металлоорганических соединений. Именно после его изучения они решили использовать в качестве исходного вещества для выращивания железных усов пентакарбонил железа $\text{Fe}(\text{CO})_5$.

Если брать источники, например, более современного характера, то в [3] авторами рассмотрены перспективные направления использования «вискерсов» именно с учетом влияния их характеристик на развитие конкретных направлений научных исследований, например в области оптики.

В работе [4] коллективом авторов рассмотрены вопросы технологий обработки нитевидных кристаллов, возможности создания биосовместимых материалов, а также исследованы свойства нитевидных кристаллов как наноматериалов.

В диссертационной работе [5] ученым Номери М. достаточно углубленно рассматривались физические свойства монокристаллов и особенное внимание было уделено оптическим свойствам. В изданиях материалов конференции [6] достаточно подробно обговаривались вопросы, связанные с особенностями оптических спектров некоторых нитевидных нанокристаллов, а в [7] по схожим группам нитевидных кристаллов обсуждались вопросы, в том числе и результатов проведенных исследований нановолокон кристаллов SnO_2 .

Вопросы выращивания нитевидных кристаллов в электрическом поле (это возможно также и в магнитном поле) волновали ученых еще с середины прошлого столетия. Здесь, в отличие от ранее указанного аспекта превалирования иностранцев, большую роль играли и советские ученые — Горбунова К., Федосеев Д., Полянская Н., Ваграмян В., Бережкова Г., Сыркин Д., Постников В., Гиваргизов Е., Гудман К., Попов С., Гриценко М., Сильниченко В., Цветкова Н., Барта Р., Торопов Н., Бондарь И., Генделев С., Золотухин И., Иевлев В. — вот далеко не полный перечень тех, кто занимался данной проблемой со своими коллегами в советских НИИ.

В своих трудах они рассматривали именно вопросы выращивания кристаллов в электрическом поле, например с использованием дополнительного электронагрева в камерах кристаллизации [9], электрические свойства различных пленок нитевидных кристаллов [10, 11]. Возможности применения

данного метода выращивания нитевидных кристаллов обсуждались на конференциях, в частности это указано в [12, 13].

Актуальность данного направления исследования осталась и в нынешнее время. Страна нуждается в новых конструкционных материалах, которые способны обладать ценными физико-химическими свойствами.

Микроэлектроника, медицина, оборонные вопросы, приборостроение, в т. ч. миниатюрное, радиационная безопасность, дозиметрия, охрана окружающей среды — это далеко не все области, где с успехом можно использовать выращенные нитевидные кристаллы.

Данные микрообъекты обладают удивительными свойствами, которые и в сегодняшних условиях заслуживают пристального внимания отечественной науки.

3. Цели и задачи исследования

Целью данной статьи есть проведение на основании анализа литературных источников обзора существующих представлений об одном из нетрадиционных методов выращивания металлических нитевидных кристаллов, как их выращивание в электрическом поле с последующим критичным оценением положительных и отрицательных моментов проведения данного процесса.

Для этого необходимо решение следующих задач исследования:

- ➔ анализ выращивания усов методом электролиза;
- ➔ анализ влияния присутствия различных механических примесей на рост кристаллов в процессе проведения электролиза;
- ➔ влияние доступа кислорода на образование нитей кристаллов в процессе электролиза;
- ➔ оценка роли поверхностной диффузии в образовании нитевидных кристаллов при электролизе.

4. Существующие представления о нетрадиционных методах выращивания металлических нитевидных кристаллов и их обсуждение. Выращивание вискеро в электрическом поле

В процессе электролиза в области малых токов металл на катоде иногда осаждается в форме нитей. Обычно такое явление наблюдается в электролитах, содержащих органические примеси (олеиновую кислоту, желатин и др. [14–16]), однако возможны и другие случаи. В опытах Ван-дер-Мёлена [17] монокристаллические нити выросли только в присутствии ионов Cl^- . Нитевидные образования на катоде не всегда являются монокристаллами, как показали металлографические исследования Овенстона и др. [18] и рентгеновские Прайса и др. [19].

Например, исследователями Графом и Моргенштерном [20], были получены нити Ag в состаренных растворах AgNO_3 , при этом присутствие в электролите ионов CN^- и I^- затрудняло нитевидный рост. Ван-дер-Мёлен и Линдстром получали нитевидные кристаллы Cu при электролизе раствора CuSO_4 в присутствии ионов Cl^- (от небольших добавок в электролит NaCl , CaCl_2 или HCl).

При этом было установлено ряд интересных фактов. Росту нитевидных кристаллов способствуют (но не инициируют!) мелкие нерастворимые частицы (например, графит, стекло и др.). Важным условием образования нитей является отсутствие доступа в электролит кислорода.

Прочность нитей, образующихся при электролизе, всегда ниже, чем у нитевидных кристаллов тех же металлов, полученных другими способами, электросопротивление значительно выше. Все это свидетельствует о том, что в процессе электроосаждения происходит захват примесей растущим кристаллом.

Подробное изучение закономерностей роста нитевидных кристаллов Ag при электролизе было проведено К. М. Горбуновой с сотрудниками, о чем выше указаны соответствующие источники. Исследовалось влияние концентрации AgNO_3 , примесей, силы тока. В качестве пассивирующих примесей использовались — олеиновая кислота, желатин, альбумин, гонтил и др.

Известно, что для роста нитевидных кристаллов существуют нижний и верхний пределы по току и концентрации примесей. При большой силе тока и повышенных концентрациях примеси образуют дендриты. Иногда на нитевидных кристаллах при росте возникают изломы, причем углы изломов соответствуют кристаллографическим углам. Вершины нитевидных кристаллов обычно огранены. Линейная скорость роста нитевидных кристаллов резко возрастает в области малых токов. При увеличении тока в цепи ячейки скачкообразно увеличивается толщина кристалла.

К. Горбуновой и ее коллегам была разработана теория образования нитевидных кристаллов при электролизе. Роль пассивирующих примесей, по видимому, такова же, как при росте нитевидных кристаллов из растворов, о чем упоминалось в предыдущей моей статье, которая была посвящена именно данной тематике. На медленно растущих гранях адсорбируется большое количество примеси, препятствующей дальнейшему росту грани.

Рост тонких нитевидных кристаллов, по представлению К. Горбуновой, может происходить в соответствии с дислокационным механизмом. Более толстые нитевидные кристаллы могут расти путем зарождения и разрастания двумерных зародышей на торцевой поверхности кристалла. По мнению К. Горбуновой, большую роль в образовании

нитевидных кристаллов при электролизе играет поверхностная диффузия.

Развивая эти представления, Прайс, Бермилия и Вебб на основании собственных наблюдений за образованием нитевидных кристаллов Ag при электролизе AgNO_3 и результатов той же К. Горбуновой предложили теорию этого процесса.

Примесь, присутствующая в электролите, осаждающаяся на боковых, медленно растущих гранях, блокирует их. На быстро растущей торцевой грани примесь встраивается в кристалл. На установившейся стадии роста скорость встраивания молекул примеси определяется скоростью их диффузии к вершине нитевидного кристалла. На основе этих соображений была вычислена критическая плотность тока, при которой происходит рост нитей.

В отличие от Прайса, Ваграмян в 1971 году установил неравномерный характер диффузионного потока молекул ПАВ к боковой поверхности. Он предложил уравнение, удовлетворительно объясняющее особенности электролитического выращивания металлических усов.

Рассматривая возникновение зародышей и рост металлических усов с позиций дислокационного механизма, Д. В. Федосеев и Н. Д. Полянская в том же 1971 г. предложили уравнение, описывающее процесс роста усов в условиях электролиза. В соответствии с этим уравнением, на рост металлических усов существенное влияние оказывает плотность тока. Это полностью совпадает с данными Ваграмяна. При высокой плотности тока ($j > 2 \text{ А/мм}^2$) рост усов происходит вяло, что подтверждает экспериментальные исследования К. Горбуновой.

Исследователь Берри и др. [21] наблюдали образование нитевидных кристаллов из припоя на тонкопленочных электросопротивлениях (главным образом около положительных контактов) при пропускании через них токов, когда припой начинает локально плавиться.

Образование «нитей» начиналось после некоторого инкубационного периода длительностью от секунд до недель. При нагревании припоя в отсутствие электрического тока нитевидные кристаллы не образовывались. Состав самого сопротивления не играл при этом никакой роли, так как нитевидные кристаллы образовывались исключительно только из материала припоя, причем около положительного контакта образуются нитевидные кристаллы, обогащенные одной компонентой сплава, около отрицательного — другой. Авторы объясняли наблюдаемое явление эффектом электропереноса или электромиграции в металлическом проводнике, когда четко проявляется ионная проводимость металла.

Большая группа работ выполнена была выполнена исследователем Бэконом и др. [22–26] по получению и изучению высокопрочных нитевид-

ных кристаллов графита. Нитевидные кристаллы графита образовывались в дуге высокого давления при токе 70–80 а в закрытой камере, наполненной инертным газом под давлением 90 атм. По мере испарения положительного электрода на отрицательном электроде образуются були длиной в несколько сантиметров, насквозь проросшие нитевидными кристаллами толщиной от 0,5 до 5 мк и длиной до 3 см.

При этом они вырастали в форме пластинок и полых трубок с различными поперечными сечениями — треугольными, квадратными и круглыми. Но наиболее интересной формой обладали нитевидные кристаллы, образованные из базисных лент, закрученных в цилиндрическую, так называемую, «сигару». Каждая лента имеет толщину в несколько сот ангстрем. Механизм образования таких форм в те времена был еще недостаточно ясен, но в природе такие образования встречаются и в нынешних условиях довольно часто.

При исследованиях строения хризотилловых асбестов, относящихся к разряду параллельно-волоконистых агрегатов, проведенных исследователем Ядой [27] на электронном микроскопе с высокой разрешающей способностью, было обнаружено, что большая часть нитей имеет форму полых цилиндров, состоящих из спирально закрученных слоев. В поперечных сечениях видны мультиспирали, которые автор связывает с присутствием винтовых дислокаций (представлено на рис. 2).

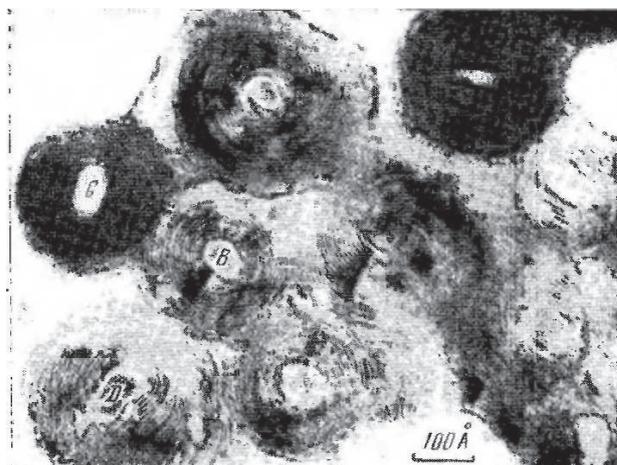


Рис. 2. Поперечный срез волокон хризотилового асбеста [16]

По данной проблеме научных исследователей ученые проводили эксперименты по выращиванию нитевидных кристаллов методом восстановления галогенидов во внешнем электрическом поле.

Так, Мазур и Рафалович [28], Гоффман и др. [29–30] изучали влияние электрического поля на образование нитевидных кристаллов Cu, Ag и Fe при восстановлении галогенидов в водороде. В ростовую камеру были введены два электрода, к которым

прикладывалось напряжение до 2 кв. в случае Cu и 1 кв. — для Ag и Fe. Во всех случаях нитевидные кристаллы образовывались на обоих электродах и направление их роста совпадало с направлениями силовых линий электрического поля.

Нитевидные кристаллы Cu в электрическом поле вырастали более короткими, Ag и Fe, наоборот, — длиннее и в большем количестве, чем без поля.

Эти опыты доказали свидетельство того, что материалом для роста нитевидных кристаллов являются нагретые частицы (ионы или поляризованные молекулы). При этом не исключается не ионный механизм роста. Образование нитевидных кристаллов на обоих электродах может быть связано с существованием при термическом разложении галогенида двух типов ионов — Cu^+ и Cu^- .

Рост нитевидных кристаллов различных элементов в электрическом поле осуществлялся также учеными Гомером [31–34] и Мелмедом [35–40]. Нитевидные кристаллы ими выращивались внутри видоизмененной камеры ионного проектора в условиях высокого вакуума (до 10^{-9} мм рт. ст.) и при напряжении до 5 кв. Испаряющееся вещество находилось на аноде, нитевидные кристаллы образовались на катоде. Они достигали очень небольших размеров (длины до 0,1 мм, толщины 50–200 Å) и вырастали всегда в одних и тех же направлениях (гцк — параллельно $\langle 110 \rangle$, оцк — $\langle 100 \rangle$).

Образование нитевидных кристаллов окиси Mo в электрическом поле напряженностью до 4 кв. наблюдали также исследователи Левовский и Суджак [41], однако, по мнению авторов, выращенные нити были поликристаллическими.

5. Выводы

1. Проведенные эксперименты показали, что для роста нитевидных кристаллов металлов наи-

более подходящими являются концентрированные растворы солей ряда металлов и что для зарождения металлических усов необходимо присутствие в растворе поверхностно-активных веществ (ПАВ), имеющих длинные молекулы. В качестве таких наиболее часто применяются олеиновая кислота, желатин, альбумин, гептилформиат и др.

2. Механизм действия ПАВ на рост металлических усов специфичен — длинные молекулы органических добавок осаждаются на боковой поверхности растущего кристалла — нити и блокируют тем самым разрастание его в ширину. При силе тока до 10^{-8} А и высокой концентрации примесей растут очень тонкие металлические усы диаметром до 0,4 мкм. Снижение концентрации ПАВ тут же приводит к увеличению диаметра усов.

3. Росту металлических нитевидных кристаллов способствует присутствие мелких частиц графита, стекла и других механических примесей, а присутствие кислорода воздуха, наоборот, приостанавливает его.

4. В процессе образования усов из материалов припой на тонкопленочных электросопротивлениях при пропускании через них электрического тока рост усов начинается не сразу, а спустя какое-то время после того, как припой расплавится. При этом усы из одного компонента припоя вырастают на аноде, а усы из другого компонента — на катоде. Причиной образования и роста усов является эффект переноса электронов в металлическом проводнике, при этом состав электросопротивления не имеет никакого принципиального значения.

5. Отсутствие доступа кислорода в процессе проведения электролиза является основным условием образования нитей кристаллов.

6. Поверхностная диффузия играет достаточно существенную роль в образовании нитевидных кристаллов.

Литература

1. Бережкова, Г. В. Нитевидные кристаллы [Текст] / Г. В. Бережкова. — М.: Госиздат, 1969. — 158 с.
2. Сыркин, В. Г. Материалы будущего. О нитевидных кристаллах металлов [Текст] / В. Г. Сыркин. — М.: Госиздат, 1989. — 92 с.
3. Белозерский, Н. А. Карбонилы металлов [Текст] / Н. А. Белозерский. — М.: Metallurgizdat, 1958. — 373 с.
4. 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.
5. Нитевидные кристаллы [Текст]: матер. всерос. конф. / Исследования и разработки по приоритетному направлению развития науки, технологий и техники «Индустрия наносистем и материалы». — Москва. ФГУ «Российский научный центр «Курчатовский институт», 2007.
6. Номери, Мохамед Абасс Хадия Получение и исследование оптических свойств полупроводниковых оксидов ZnO_2 и Zn_2O_3 [Текст]: дисс. ... канд. физ.-мат. Наук / Хадия Абасс Мохамед Номери. — Воронеж, 2011. — 128 с.
7. Рябцев, С. В. Особенности оптических спектров нитевидных нанокристаллов SnO_2 [Текст]: VII Всерос. конф.-школа / С. В. Рябцев, Н. М. А. Хадия, Ф. М. Чернышов, С. В. Рябцев, Э. П. Домашевская // Нелинейные процессы и проблемы самоорганизации в современном материаловедении (индустрия наносистем и материалы). — Воронеж, 2009. — С. 308–311.

8. Домашевская, Э. П. Морфологические, структурные и оптические исследования нановолокон SnO_2 , синтезированных из порошка SnO [Текст]: IV Всерос. конф. / Э. П. Домашевская, Н. М. А. Хадия, П. В. Середин, С. В. Рябцев // Фагран — 2008: «Физико-химические процессы в конденсированном состоянии и на межфазных границах». — Воронеж, 2008. — С. 367–371.
9. Гиваргизов, Е. И. Теория роста и методы выращивания кристаллов [Текст] / Е. И. Гиваргизов. — М.: Изд. «Мир», 1981. — 220 с.
10. Нитевидные кристаллы и неферромагнитные пленки [Текст]: матер. I Всесоюз. науч. конф. Часть 1 / Нитевидные кристаллы. — Воронеж: ВПИ, 1970. — С. 287.
11. Нитевидные кристаллы и неферромагнитные пленки [Текст]: матер. I Всесоюз. науч. конф. Часть 2 / Тонкие пленки. — Воронеж: ВПИ, 1970. — С. 300.
12. Нитевидные кристаллы и тонкие пленки [Текст]: матер. II Всесоюз. науч. конф. / Нитевидные кристаллы. — Воронеж: ВПИ, 1975. — С. 466.
13. Нитевидные кристаллы для новой техники [Текст]: матер. III Всесоюзной науч. конф. / Воронеж: ВПИ, 1979. — 231 с.
14. Горбунова, К. М. Рост нитевидных кристаллов [Текст] / К. М. Горбунова, А. И. Жукова // ЖФХ. — 1949. — Т. 23. — С. 695.
15. Горбунова, К. М. Рост нитевидных кристаллов [Текст] / К. М. Горбунова, П. Д. Данков // ЖФХ. — 1949. — Т. 23. — С. 616.
16. Горбунова, К. М. Рост кристаллов [Текст] / К. М. Горбунова // изд. АН СССР. — 1957. — Т. 1. — С. 48.
17. Vander Meulen, P. A. J. A Study of Whisker Formation in the Electrodeposition of Copper [Text] / P. A. Vander Meulen, H. V. Lindstrom // Journal of The Electrochemical Society. — 1956. — Vol. 103, Issue 7. — P. 390. doi: 10.1149/1.2430360
18. Ovenston, T. C. J. J. Filamentary Growths on Copper Cathodes [Text] / T. C. J. Ovenston, C. A. Parker, A. E. Robinson // Journal of The Electrochemical Society. — 1957. — Vol. 104, Issue 10. — P. 607. doi: 10.1149/1.2428425
19. Price, P. B. On the growth and properties of electrolytic whiskers [Text] / P. B. Prices, D. A. Vermilyea, W. W. Webb // Acta metallurgica. — 1958. — Vol. 6, Issue 8. — P. 524–531. doi: 10.1016/0001-6160(58)90167-6
20. Graf, L. Z. Naturforsh [Text] / L. Graf, W. Z. Morgenstern. — 1955. — № 10a. — P. 345.
21. Berry, R. W. Growth of whisker crystals and related morphologies by electrotransport [Текст] / R. W. Berry, G. M. Bouton, W. C. Ellis, D. E. Engling // Applied Physics Letters. — 1966. — Vol. 9, Issue 7. — P. 263. doi: 10.1063/1.1754742
22. Bacon, R. B. Amer. Phys. Soc. [Текст] / R. Bacon, J. C. Bowman, 1957. — Ser. 11, № 2. — P. 131.
23. Bacon, R. J. Appl. Phys. [Текст] / R. Bacon, J. C. Bowman, 1957. — Ser. № 28. — P. 826.
24. Bacon, R. Bull [Text] / R. Bacon // Amer. Phys. Soc. — 1958. — Vol. 3. — P. 108.
25. Bacon, R. Growth and Perfection of Crystals [Text] / R. Bacon. — N. Y. John Willey, 1959. — 197 p.
26. Bacon, R. J. Growth, Structure, and Properties of Graphite Whiskers [Text] / R. Bacon // Journal of Applied Physics. — 1960. — Vol. 31, Issue 2. — P. 283. doi: 10.1063/1.1735559
27. Yada, K. Study of chrysotile asbestos by a high resolution electron microscope [Text] / K. Yada // Acta crystallogr. — 1967. — Vol. 23, Issue 5. — P. 704–707. doi: 10.1107/s0365110x67003524
28. Mazur, J. Brit [Text] / J. Mazur, J. Rafalowich // J. Apple. Phys. — 1961. — Vol. 12. — P. 569.
29. Hoffmann, T. J. Brit [Text] / T. Hoffmann, J. Mazur, J. Rafalowich, J. Nikliborc // J. Apple. Phys. — 1961. — Vol. 12. — P. 342.
30. Hoffmann, T. J. Brit [Text] / T. Hoffmann, J. Mazur, J. Rafalowich, J. Nikliborc // J. Apple. Phys. — 1961. — Vol. 12. — P. 635.
31. Gomer, R. J. Field Emission from Mercury Whiskers [Text] / R. Gomer // The Journal of Chemical Physics. — 1957. — Vol. 26, Issue 5. — P. 1333. doi: 10.1063/1.1743515
32. Gomer, R. J. Surface Diffusion of CO on W [Text] / R. Gomer // The Journal of Chemical Physics. — 1958. — Vol. 28, Issue 1. — P. 457. doi: 10.1063/1.1744064
33. Gomer, R. Growth and Perfection of Crystals [Text] / R. Gomer. — N. Y. John Willey, 1959. — 126 p.
34. Gomer, R. J. Comments on «Growth of Crystal Whiskers» by Blakely and Jackson [Text] / R. Gomer // The Journal of Chemical Physics. — 1963. — Vol. 38, Issue 1. — P. 273. doi: 10.1063/1.1733479
35. Melmed, A. J. Field Emission from Metal Whiskers [Text] / A. Melmed, R. Gomer // The Journal of Chemical Physics. — 1959. — Vol. 30, Issue 2. — P. 586–587. doi: 10.1063/1.1729993
36. Melmed, A. J. On the Occurrence of Fivefold Rotational Symmetry in Metal Whiskers [Text] / A. Melmed, D. O. Hayward Gomer // The Journal of Chemical Physics. — 1959. — Vol. 31, Issue 2. — P. 545. doi: 10.1063/1.1730394
37. Melmed, A. J. Field Emission from Whiskers [Text] / A. Melmed, R. Gomer // The Journal of Chemical Physics. — 1961. — Vol. 34, Issue 5. — P. 1802. doi: 10.1063/1.1701081

38. Melmed, A. J. Electrical Measurement of Whisker Field-Emission Characteristics [Text] / A. Melmed // The Journal of Chemical Physics. — 1962. — Vol. 36, Issue 4. — P. 1001. doi: 10.1063/1.1732663
39. Melmed, A. J. [Text] / A. Melmed // Apple. Phys. — 1963. — Vol. 34. — P. 3225.
40. Melmed, A. J. Field-Electron and Field-Ion Emission from Single Vapor-Grown Whiskers [Text] / A. Melmed // The Journal of Chemical Physics. — 1963. — Vol. 38, Issue 3. — P. 607. doi: 10.1063/1.1733713
41. Lewowski, T. Z. Naturforsch [Text] / T. Lewowski. — 1960. — № 15a. — P. 89.

Abstract. The existing ideas about one of the non-traditional methods of growing metallic filamentary crystals, such as growing in an electric field were considered in the paper. The role of impurities in the crystal growth process was investigated. Positive and negative sides of the electrolysis process during growing this group of crystals were critically considered. The experiments have shown that concentrated solutions of salts of several metals are the most suitable for growing filamentary crystals of metals and the presence of surface-active substances (SAS), having long molecules in the solution, is necessary for the nucleation of metallic filamentary crystals. The growth of metallic filamentary crystals is promoted by the presence of fine particles of graphite, glass and other mechanical impurities, and the presence of oxygen, on the contrary, retards it. During the formation of the whiskers of solder materials on thin-film electro-resistances when passing an electric current through them, whisker growth does not start immediately, but some time after the solder melts. The reason for the formation and growth of whiskers is the transferred-electron effect in a metal conductor, and the composition of the electrical resistance has no fundamental significance. The lack of oxygen in the electrolysis process is the basic condition for the formation of whiskers. Surface diffusion plays an important role in the formation of filamentary crystals. This research direction remains relevant at the present time. Today the country needs new structural materials that have valuable physicochemical properties. Microelectronics, medicine, defense issues, instrument-making industry, radiation safety, dosimetry, environmental protection - that's not all areas where grown filamentary crystals can be successfully used. Filamentary crystals have amazing properties, which in today's conditions deserve the close attention of our science. This, in turn, will help to more efficiently solve the issues of getting products that meet the requirements of environmental legislation, as well as human and environmental protection from anthropogenic factors.

Keywords: filamentary crystals, growing methods, metal "whiskers", electrolysis process, passivating additives.