

**SKF-шпиндели на магнитных подшипниках**

Могут использоваться для того, чтобы шлифовать и фрезеровать со скоростями до 100000 об/мин. Большое преимущество магнитных подшипников — отсутствие контакта несущих металлических поверхностей. Это обеспечивает более высокую максимальную скорость и отсутствие износа. Особенность шпинделей на магнитных подшипниках — усовершенствованное цифровое управление и информационная диагностика в режиме реального времени. Что, в результате, позволяет оптимизировать процесс резания.

Эти опоры не изнашиваются, не нуждаются ни в какой смазке и экологически безвредные. Особенности газовых подшипников — высокие динамическая жесткость и скорость. SKF-шпиндели с газовыми подшипниками применяют для чистового точения, обеспечивая минимальную погрешность — от 0,05 мм. При этом диапазон скоростей — от нескольких до 100 000 об/мин и более. SKF шпиндели с газовыми подшипниками используются в машинах полирования призм, резания контактных линз, шлифования фасонных профилей и т. д.

**SKF-шпиндели с газовыми подшипниками**

Применяются при необходимости обеспечения чрезвычайно высокой точности и скорости.

По материалам:  
[www.scf.com](http://www.scf.com), [http://www.privod-news.ru/may\\_04/37-7.htm](http://www.privod-news.ru/may_04/37-7.htm)



## ПРИКЛАДНЫЕ НАУЧНЫЕ РАЗРАБОТКИ

УДК 548.31

DOI: 10.15587/1729-4061.2015.36435

### СУЩЕСТВУЮЩИЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ О ТРАДИЦИОННЫХ МЕТОДАХ ВЫРАЩИВАНИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ НИТЕВИДНЫХ КРИСТАЛЛОВ, ИХ АНАЛИЗ

**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](mailto:sergey.artemev.1967@mail.ru)

*В материале статьи рассмотрены существующие представления о традиционных методах выращивания металлических нитевидных кристаллов, проанализированы вопросы кинетики роста металлических «усов». Критично рассмотрены недостатки различных методов выращивания данной группы кристаллов, исследованы вопросы кристаллизации металлических нитевидных кристаллов при их выращивании.*

*Ключевые слова: нитевидные кристаллы, методы выращивания, металлические «вискеры», кинетика роста, режим испарения.*

*В матеріалі статті розглянуто існуючі уявлення стосовно методів вирощування металевих ниткоподібних кристалів, проаналізовано питання кінетики зростання металевих «вусів» заліза. Критично розглянуто недоліки застосування різних методів вирощування «віскерів», досліджено питання кристалізації металевих ниткоподібних кристалів під час їх вирощування.*

*Ключові слова: ниткоподібні кристали, методи вирощування, металеві «віскери», кінетика зростання, режим випаровування.*

#### 1. Введение

Мысль о существовании легколетучих исходных соединений металлов, более удобных, чем

галогениды для выращивания металлических усов никогда не покидала исследователей. Начиная с 60-х годов прошлого столетия, в литературе был определенный всплеск описания вопросов,

который касался различных методов выращивания нитевидных кристаллов. Тогда их выращивание осуществлялось, как правило, из паров хлоридов и других галогенидов металлов и неметаллов. Это создавало массу неудобств, так как трудно придумать более «непригодные» исходные соединения для этого, чем хлориды.

Вопрос о том, как из металлоорганических соединений выращивать металлические усы был и остается актуальным. То ли это делать в неглубоком вакууме, то ли использовать микроскопию кристаллов, а может попробовать электронно-кластерный механизм роста «вискерров» или выращивать их в электрическом поле — все эти методы достаточно важны и не являются взаимозаменяемыми. Поэтому все эти факты говорят о том, что вопросы исследования различных свойств нитевидных кристаллов и методов их выращивания, в том числе традиционных, и сегодня являются достаточно актуальными.

## 2. Анализ литературных данных и постановка проблемы

В середине прошлого столетия выращивание металлических «вискерров» 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 образуются агрессивные газы, несущие аппаратуре и магистралям коррозию [1].

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 «вискерров» именно с учетом влияния их характеристик на развитие конкретных направлений научных исследований, например, в области оптики.

В [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  $\text{SnO}_2$ .

## 3. Цель и задачи исследования

Целью данной работы есть продолжение выполнения обзора литературных источников по вопросам традиционных способов выращивания металлических нитевидных кристаллов. В результате его проведения планируется:

1. Получить более углубленные представления о традиционных методах выращивания металлических нитевидных кристаллов.
2. Проанализировать вопросы кинетики роста металлических усов.
3. Критично рассмотреть существующие недостатки различных методов выращивания данной группы кристаллов.
4. Исследовать вопросы кристаллизации металлических нитевидных кристаллов в процессе их выращивания.
5. Провести сравнительный анализ существующих традиционных методов выращивания металлических «вискерров» и определить наиболее оптимальный из них.

## 4. Существующие представления о традиционных методах выращивания металлических нитевидных кристаллов и их обсуждение

В 1967 г. учеными Т. Габором и Д. Блочером был описан один из вариантов реакционной камеры для выращивания усов железа из  $\text{Fe}(\text{CO})_5$  [2].

Следует отметить, что данная камера в то время еще была недостаточно совершенна. Так, в качестве подложек учеными были выбраны специально изготовленные тончайшие пластинки из золота с гранью (111). Золотая пластинка, напоминающая фольгу, плотно крепилась на держателе из нержавеющей стали, который служил также нагревателем. Иногда в качестве подложки использовался и сам нагреватель из нержавеющей стали, представляющий собою сетку, отоженную в вакууме. Это делалось для уменьшения окисления.

Сеточный нагреватель перед опытом промывался водным раствором щавелевой кислоты и дистиллированной водой в камере с ультразвуковым вибратором. Опыты проводились в вакууме ( $1 \cdot 10^{-1}$  —  $2 \cdot 10^{-1}$  мм рт. ст.) в токе водорода ( $1400 \text{ см}^3/\text{с}$ ) в интервале температур  $710$ – $820$  °С. Испаритель  $\text{Fe}(\text{CO})_5$  при этом помещался в сосуд Дьюара,

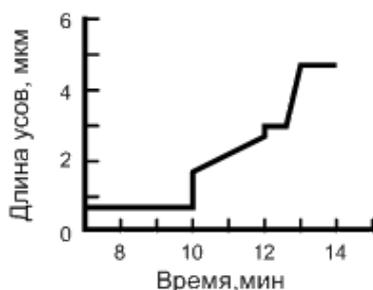
заполненный ацетоном. Это обеспечивало постоянство давления паров  $\text{Fe}(\text{CO})_5$ .

Габором и Блочером было установлено, что усы железа росли только в условиях перенасыщения парами  $\text{Fe}(\text{CO})_5$  при температуре не ниже  $700^\circ\text{C}$ . Так как было невозможно определить момент начала роста вискеро́в, ученым приходилось вести длительные опыты с продолжительностью от 2 до 5 часов, при этом фотосъемка была достаточно неэффективной.

Авторов интересовал вопрос состава железных вискеро́в. Методом дифракции они установили, что нитевидные кристаллы состоят из  $\alpha\text{-Fe}$ . При этом одни грани кристалла имели ориентацию (110), а другие — (332).

В некоторых образцах усов  $\alpha\text{-Fe}$  учеными был обнаружен рост кристалла в направлении (130) и направлении оси уса (311). Под углом  $72^\circ$  к оси уса исследователями были зафиксированы винтообразные вертикальные полосы с левым поворотом винта. Весь же ус был покрыт гранями (001), параллельными электронному лучу.

Результаты проведенных экспериментов представлены на **рис. 1**, где показан характер увеличения длины усов  $\alpha\text{-Fe}$  по времени при разложении  $\text{Fe}(\text{CO})_5$ .



**Рис. 1.** Характер увеличения длины усов  $\alpha\text{-Fe}$  по времени при разложении  $\text{Fe}(\text{CO})_5$

Очень интересные данные были получены этими же учеными и во время изучения кинетики роста усов  $\alpha\text{-Fe}$ . После прогрева подложки из золота в течение 2–5 часов в камеру вводились пары  $\text{Fe}(\text{CO})_5$ . И уже через несколько минут после достижения «критической» концентрации паров карбонила в реакторе начинался рост усов.

В течение следующих нескольких минут во время, так называемого, «индукционного периода», усы медленно росли, далее примерно на десятой минуте скорость роста их внезапно резко увеличивалась, что показано на **рис. 1**, достигая значения  $1,7\text{ мкм/с}$ , а затем падала в сотни раз. И как только замедлялся рост одного из вискеро́в, практически сразу же начинался рост другого или даже двух-трех сразу. Однако тонкие и быстрорастущие усы возникали только в начале опыта.

Результаты проведенных исследований этих ученых показали, что были обнаружены усы, тело которых имеет спиралевидную форму, как бы поворачивающуюся по часовой стрелке. Такой поворот особенно характерен именно для тонких усов. Он происходит с большой скоростью. Расчеты авторов свидетельствовали о том, что возникновение такого уса происходит всего лишь за  $1/12\text{ с}$ . При этом также наблюдалось образование «вторичных» усов, т. е. возникновение нового уса на теле уже выросшего. При этом чаще всего рост основного уса в это время прекращался.

Габор и Блочер объясняли это явление накоплением нежелательных примесей, служащих своеобразными «ядами». Результаты этих исследований показали следующие стадии процесса роста усов  $\alpha\text{-Fe}$ :

1. Стадия индукционного периода, во время которого наращивается железный подсло́й («почва» для нитевидных кристаллов) и устанавливается требуемая концентрация паров  $\text{Fe}(\text{CO})_5$ .
2. Медленное зарождение основы уса, вызванное напряжениями подсло́я.
3. Быстрый рост уса.
4. Резкое замедление скорости роста уса из-за отравления примесями кончика нитевидного кристалла  $\alpha\text{-Fe}$ .
5. Прекращение роста уса с вершины и одновременное зарождение бокового «вторичного» уса на теле уже выросшего.

В 1969 г. Статья [8] этих ученых оказала большое влияние на развитие карбонильного метода выращивания усов, однако, как и их предшественники, Габор и Блочер не смогли отказаться от несущего газа (водорода), а ведь водород, уменьшая концентрацию паров  $\text{Fe}(\text{CO})_5$ , заметно снижал скорость роста усов.

Кроме того, данный метод нельзя было рекомендовать для крупномасштабных наработок, так как при температуре выше  $700^\circ\text{C}$ , а особенно при  $1000^\circ\text{C}$  и более он выводил бы из строя материал реактора и магистрали из-за возникновения «водородной коррозии».

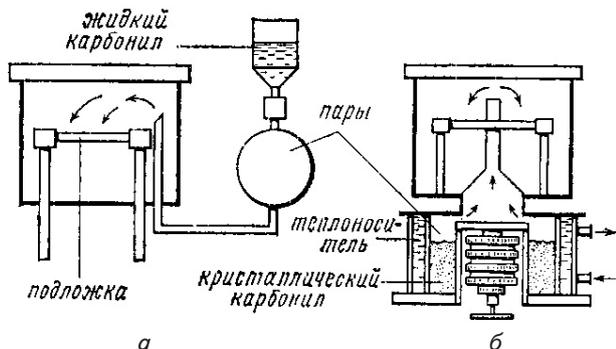
Анализ проведенных исследований позволил проанализировать и достаточно существенные недостатки метода «Габора — Блочера», к которым, например, можно отнести следующие:

1. Одинаковый температурный режим и для выращивания подсло́я железа, из которого затем должны «выстреливаться» усы, и самих усов.
2. Применение в качестве подложек дорогостоящих материалов (золото или золотая фольга).
3. Ограниченный режим испарения  $\text{Fe}(\text{CO})_5$ , что связано с возможностями испарителя со стабилизирующим ацетоном и ряд других.

Этих недостатков немного позже уже практически не было в методах выращивания нитевидных кристаллов Fe, Mn, Cr, Mo, W и некоторых других металлов из паров карбониллов, который

был разработан А. Уэльским, И. Добряковой, Г. Бережковой., что описано в [9, 10].

Так, на **рис. 2** показаны конструкции двух реакторов, в которых осуществлялось предварительное нанесение металлического подслоя и последующее выращивание нитевидных металлических кристаллов [11]. Первый из них (**а**) оборудован выносным испарителем и предназначен для получения усов Fe и Ni из жидких карбонилы. Второй (**б**) — имеет сублиматор сильфонного типа, встроенный в нижнюю часть корпуса.

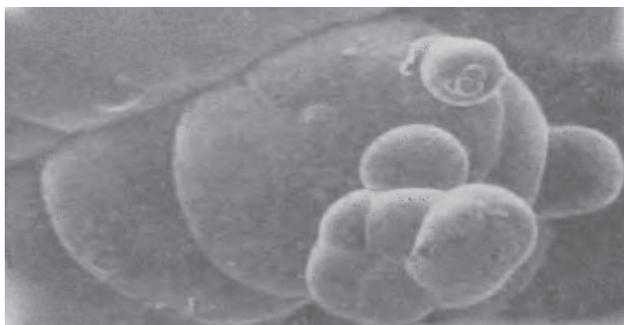


**Рис. 2.** Конструкции реакторов для выращивания металлических усов из паров карбонилы металлов в неглубоком вакууме: **а** — с испарителем выносного типа, — для жидких карбонилы; **б** — с сублиматором сильфонного типа, совмещенным с реактором, — для кристаллических карбонилы) [11]

В обоих случаях подложка крепится к зажимам, через которые во время процесса роста усов пропусклся электрический ток нагрева. Усы, полученные из паров карбонилы в процессе реализации данного метода, были сфотографированы при большом увеличении с помощью сканирующего электронного микроскопа марки «Филипс».

В [12] тем же ученым Сыркиным В. достаточно подробно рассматривались вопросы газофазной металлизации именно через карбонилы.

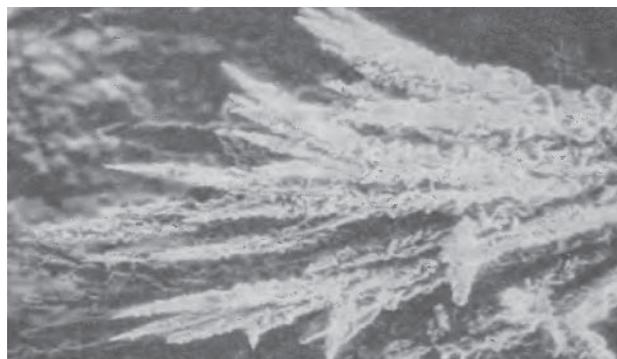
На **рис. 3** представлен поликристалл железа, выращенный в избытке паров  $\text{Fe}(\text{CO})_5$ .



**Рис. 3.** Поликристалл железа, выращенный в избытке паров  $\text{Fe}(\text{CO})_5$

На **рис. 4** показан нитевидный кристалл, выращенный из метилциклопента-диенилтрикарбонила

марганца, а на **рис. 5** кристалл, полученный из паров  $\text{Fe}(\text{CO})_5$  с присадкой  $\text{C}_6\text{H}_6$  и с последующей высокотемпературной термообработкой на воздухе.



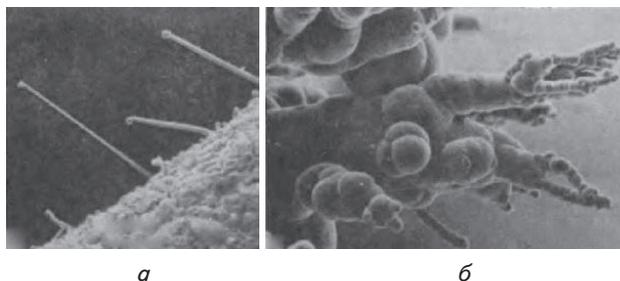
**Рис. 4.** Кристалл, выращенный из метилциклопента-диенилтрикарбонила марганца



**Рис. 5.** Нитевидный кристалл, кристалл, полученный из паров  $\text{Fe}(\text{CO})_5$  с присадкой  $\text{C}_6\text{H}_6$

В [13] достаточно углубленно и последовательно ученый Е. Гиваргизов рассмотрел вопрос роста нитевидных и пластинчатых кристаллов именно в процессе испарения (практически из пара).

На **рис. 6** представлены монокристаллические усы Mo, выращенные из паров  $\text{Mo}(\text{CO})_6$  (**а**) и поликристалл Fe, выращенный из паров  $\text{Fe}(\text{CO})_5$  (**б**).



**Рис. 6.** Монокристаллические усы Mo, выращенные из паров  $\text{Mo}(\text{CO})_6$  (**а**) и поликристалл Fe, выращенный из паров  $\text{Fe}(\text{CO})_5$  (**б**)

Наряду с карбонилами металлов в качестве исходных металлоорганических веществ для выращивания усов могут и уже используются металлоценовые соединения, например, ферроцен и его производные, кобальтоцен и его производные и др.

Как правило, перед нанесением металлических пленок, на поверхности которых затем зарождаются и выращиваются усы, подложка подвергается ионной очистке. Для этого один из контактов высоковольтного источника мощностью до 2 кВт подсоединяется к металлическому корпусу реактора, а второй — располагается на расстоянии 10–20 мм от поверхности подложки.

В качестве подложек удобно использовать молибденовую фольгу или стержень из нержавеющей стали любой марки. Перед ионной очисткой они протираются тампоном, смоченным в этаноле. В момент возникновения разряда появляется красивое голубоватое свечение, ионы газа бомбардируют подложку, очищая ее от малейших примесей.

Следует отметить, что вопросы осаждения пленок и покрытий разложением металлоорганических соединений достаточно успешно обсуждались во время различных научных конференций, что было описано, например в [14, 15], а в [16] тоже, обсуждая тезисы конференции, были рассмотрены вопросы использования нитевидных кристаллов в различных отраслях науки и техники.

На рис. 7 представлены металлические усы Fe, выращенные как раз из паров ферроценовых соединений, соответственно, из паров диацетилферроцена (а) и диэтилферроцена (б).

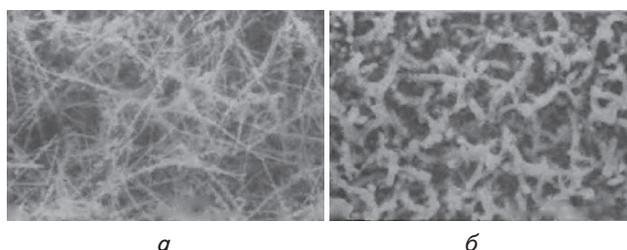


Рис. 7. Металлические усы Fe, выращенные из паров ферроценовых соединений: а — из паров диацетилферроцена; б — диэтилферроцена

Как показали проведенные исследования, из диацетилферроцена очень легко выращиваются прямолинейные усы Fe диаметром 0,5 мкм и длиной 30–80 мкм, а усы Fe, выращенные из диэтилферроцена, представляют собой слегка изогнутые нитевидные кристаллы толщиной 1–1,5 мкм и длиной около 20–30 мкм.

Выращивание металлических усов часто сопровождается кристаллизацией двумерных «пластинчатых» кристаллов. У таких образований размеры в двух направлениях, образующих плоскость, приблизительно одинаковы. Однако при этом они во много раз превосходят размеры в третьем направлении, перпендикулярном плоскости.

Между нитевидными и пластинчатыми кристаллами с точки зрения их образования много общего. На рис. 8 показана промежуточная (уже не усы, но еще и не пластины) форма пластинчатого кристалла.

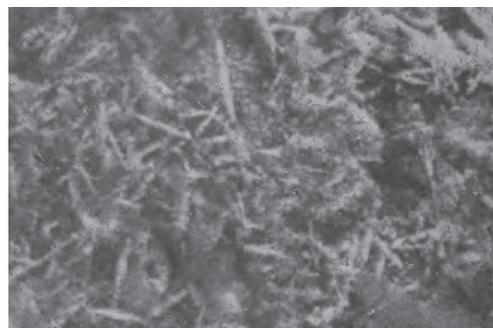


Рис. 8. Переходная модификация пластинчатого двумерного кристалла

Еще более интересны для анализа, так называемые, «скелетные» кристаллы, которые растут в объеме не своими поверхностями, а ребрами и вершинами (показано на рис. 9, а, б).

Ведь при высоком перенасыщении парами металлоорганических соединений вариации формы кристалла несущественны для энергетики кристаллизации металла из газовой фазы. Это говорит о том, что быстрое наращивание «тела» кристалла может происходить и ценой искажения его традиционной огранки.

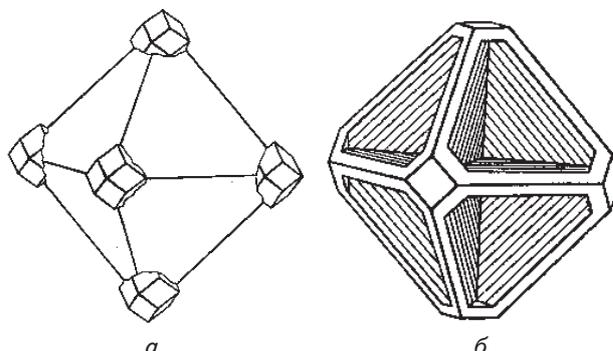


Рис. 9. Скелетный кристалл флюорита (а) и пирита (б)

Также при больших пересыщениях парами металлоорганических соединений, когда рост кристалла может происходить по механизму Косселя — Странского, возникновение двумерного зародыша становится более вероятным вблизи ребер и вершин, чем в середине грани. Уже это обстоятельство создает весомую предпосылку роста кристалла по скелетному типу.

Очевидно, что вблизи ребер и вершин «материал» наращивается быстрее, чем разрастаются предыдущие слои. Ребра и вершины при этом как бы окружены высококонцентрированным металлоорганическим питающим газом со всех сторон, а середины граней находятся в менее выгодном положении. Таким образом, в случае скелетной кристаллизации все определяется мощным массопереносом. Питающее металлоорганическое вещество

поступает к серединам граней медленнее, чем к ребрам и вершинам. В этом и лежит основа секрета возникновения и роста скелетных кристаллов.

Этот, а также ряд других вопросов рядом ученых описано в обобщающих учебных изданиях [17, 18].

#### 4. Выводы

В материале статьи рассмотрены существующие представления о традиционных методах выращивания металлических нитевидных кристаллов, проанализированы вопросы кинетики роста металлических усов, критично рассмотрены недостатки различных методов выращивания данной группы кристаллов, исследованы вопросы кристаллизации металлических нитевидных кристаллов при их выращивании.

Карбонилы металлов, широко применяемые в методах выращивания нитевидных металлических кристаллов, применялись и продолжают успешно применяться в современных условиях, например, в металлургии для производства металлов и сплавов, в химической промышленности — при синтезе органических соединений, в машиностроении — для получения защитных и декоративных покрытий и т. п.

Нельзя не отметить, что промышленное значение карбониллов и карбонильных металлов непрерывно возрастает. При этом однозначно можно утверждать, что литературные источники по теоретическим вопросам и практическому использованию карбониллов металлов до настоящего времени недостаточно четко систематизированы.

#### Литература

1. Сыркин, В. Г. Материалы будущего. О нитевидных кристаллах металлов [Текст] / В. Г. Сыркин. — М.: Госиздат, 1989. — 92 с.
2. Белозерский, Н. А. Карбонилы металлов [Текст] / Н. А. Белозерский. — М.: Металлургодат, 1958. — 373 с.
3. Шишелова, Т. И. Нитевидные кристаллы [Текст] / Т. И. Шишелова, Н. Е. Степанова, Д. А. Плынская, М. А. Беяева // Успехи современного естествознания. — 2009. — № 8 — С. 12–13.
4. 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.
5. 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.
6. Рябцев, С. В. Особенности оптических спектров нитевидных нанокристаллов  $SnO_2$  [Текст] : VII Всерос. конф. / 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.
7. 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.
8. Gabor, T. In Situ Electron-Microscopic Study of the Growth of Iron Whiskers by Chemical Vapor Deposition [Text] / T. Gabor, J. M. Blocher // Journal of Applied Physics. — 1969. — Vol. 40, Issue 7. — P. 224–226. doi: 10.1063/1.1658064
9. Бережкова, Г. В. Нитевидные кристаллы [Текст] / Г. В. Бережкова. — М.: Госиздат, 1969. — 158 с.
10. Бережкова, Г. В. Диссертация [Текст] / Г. В. Бережкова. — М., 1964. — 255 с.
11. Сыркин, В. Г. Карбонилы металлов [Текст] / В. Г. Сыркин. — М.: Химия, 1983. — 200 с.
12. Сыркин, В. Г. Газофазная металлизация через карбонилы [Текст] / В. Г. Сыркин. — М.: Металлургия, 1985. — 264 с.
13. Гиваргизов, Е. И. Рост нитевидных и пластинчатых кристаллов из пара [Текст] / Е. И. Гиваргизов. — М.: Наука, 1977. — 304 с.
14. Грибов, Б. Г. Осаждение пленок и покрытий разложением металлоорганических соединений [Текст] : уч. пос. / Б. Г. Грибов, Г. А. Домрачев, Б. В. Жук. — М.: Наука, 1981. — 322 с.
15. Нитевидные кристаллы и тонкие пленки [Текст] : матер. II Всесоюзной науч. конф. / Нитевидные кристаллы. — Воронеж: ВПИ, 1975. — 466 с.
16. Нитевидные кристаллы для новой техники [Текст] : Материалы III Всесоюзной науч. конф. / Воронеж: ВПИ, 1979. — 231 с.
17. Иванова, В. С. Новые пути повышения прочности металлов [Текст]: уч. пос. / В. С. Иванова, Л. К. Горденко. — М.: Наука, 1964. — 118 с.

18. Аммер, С. А. Нитевидные кристаллы [Текст] : учеб. / С. А. Аммер, В. С. Постников. — Воронеж, политех. инстит., 1974. — 284 с.

*Abstract. The paper considers the existing views on the conventional methods of growing filamentary metal crystals, analyzes the kinetics of growing metal whiskers, examines disadvantages of various methods of producing this type of filamentary crystals, and studies their crystallization in the process of growing. Metal carbonyls, which are widely used in growing filamentary crystals, have been successfully used, particularly in metallurgy (in manufacturing metals and alloys), in chemical industry (in synthesizing organic compounds), in machine building (for obtaining protective and decorative coverings), etc. It proves that the industrial importance of carbonyls and metal carbonyls is constantly rising, which makes studies on growing the crystals in modern conditions rather topical. Meanwhile, it is obvious that so far studies on theoretical problems and practical application of metal carbonyls lack clear systematization. Our review of the studies has resulted in a clear understanding of the conventional methods of growing filamentary metal crystals. We have thoroughly analyzed the kinetics of growing metal whiskers, examined the current disadvantages of various methods of growing filamentary crystals, and studied the problems of their crystallization in the process of growing. The study findings can be conducive to improving the manufacture of products so that they could meet the requirements of environmental legislation, which will furthermore facilitate protection of man and environment from anthropogenic factors.*

*Keywords: filamentary crystals, methods of growing, metal whiskers, kinetics of growth, mode of evaporation.*

УДК 691.175.743

DOI: 10.15587/1729-4061.2015.36791

## ВПЛИВ ОРІЄНТАЦІЇ НА МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ТРУБ З ПВХ

**Найда Андрій Михайлович**

Директор ТзОВ «Калуський трубний завод», вул. Промислова, 7, м. Калуш, Україна, 77300

E-mail: najda@katz.com.ua

*В статті розглядаються дослідження механічних властивостей труб з ПВХ-О, таких як пружність, еластичність, відносне видовження, вплив температур на них. Наведені принципові особливості полімерного стану речовин, що визначають механічні властивості труб. Показано криву деформації аморфного полімеру при постійній швидкості розтягу і різних температурах.*

*Ключові слова: полімерний матеріал, труба з ПВХ-О, полівінілхлорид, пружність, еластичність, відносне видовження.*

*В статье рассматриваются исследования механических свойств труб из ПВХ-О, как упругость, эластичность, относительное удлинение, влияние температур на них. Приведены принципиальные особенности полимерного состояния веществ, определяющих механические свойства труб. Показано кривую деформации аморфного полимера при постоянной скорости растяжения и различных температурах.*

*Ключевые слова: полимерный материал, труба из ПВХ-О, поливинилхлорид, упругость, эластичность, относительное удлинение.*

### 1. Вступ

Декілька десятків років системи внутрішньої і зовнішньої водопровідної системи монтувались із сталених оцинкованих труб. Сьогодні їх введено витісняють полімерні труби, зокрема труби із непластифікованого полівінілхлориду (НПВХ).

В даний час найкращим шляхом є напрям випуску труб ПВХ з молекулярною орієнтацією або труби з орієнтованого ПВХ (ПВХ-О).

Труби з орієнтованого ПВХ — найдосконаліші труби для транспортування води під тиском, які на сьогоднішній день доступні на ринку. Завдяки процесу молекулярної орієнтації ці труби виділяються