

УДК 548.31

*С. Р. АРТЕМЬЕВ*, канд. техн. наук, доц., Национальный университет гражданской защиты Украины, Харьков

### **ОБ АКТУАЛЬНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ НИТЕВИДНЫХ КРИСТАЛЛОВ В СОВРЕМЕННОМ ПРОИЗВОДСТВЕ**

В материале статьи в рамках продолжения литературного обзора рассмотрены основные направления применения нитевидных кристаллов в современном производстве, показана актуальность дальнейшего проведения научных исследований в вопросах дальнейшего расширения спектра использования нитевидных кристаллов в различных отраслях промышленности

**Ключевые слова:** нитевидные кристаллы, производство, спектр расширения, направления использования

**Введение.** Развитие техники современного производства предъявляет повышенные требования при изготовлении электроизоляционных материалов и изделий из них, работающих при высоких температурах, в химически агрессивных средах.

Новые неорганические волокна – тугоплавкие монокристаллы на основе оксидов, нитридов и карбидов металлов, называются нитевидными кристаллами. Второе название кристаллов – усы, или вискеры, от английского слова «whisker» – волос. На их основе в современном производстве успешно получают композиционные материалы.

В бывшем СССР проблема использования нитевидных кристаллов на производстве начала решаться еще в 50-х годах прошлого столетия. Именно поэтому особый интерес к вискерам приходится на указанный период. В то время на производстве было получено и исследовано более 35 элементов и более 80 соединений нитевидных кристаллов [1].

По размерам вискеры вполне сопоставимы с наночастицами – диаметр некоторых из них не превышает 100 нм. При этом нитевидные кристаллы делят на две основные группы: кристаллы естественного и кристаллы искусственного происхождения. Усы первой группы формируются на земле уже много тысячелетий, упоминания о вторых в научной литературе начинаются с 16 века [2].

Следует отметить тот факт, что вискеры многих тугоплавких соединений (карбида кремния, окиси алюминия, нитрида кремния и др.) выпускаются сегодня в промышленных масштабах. Также сегодня достаточно известны самородные волокнистые нитевидных кристаллов Au, Ag, Cu, Sn, Pb, S, различных окислов и силикатов. Нити, например, самородного серебра достигают длины в 0,5 м. Часто природные нитевидные кристаллы встречаются и в виде включений внутри других минералов (например, иглы рутила в природных кристаллах рубина, кварца). Французский спелеолог Де Кастере, например, в [3] описывал тончайшие нити карбоната кальция и гипса, свисавшие с потолка и стен и обладавшие такой гибкостью, что их можно было обертывать вокруг пальца и даже завязывать в узел.

Следует отметить, что в последние годы достаточно успешно в различных странах проводятся работы по созданию композиционных материалов с особыми

свойствами на основе именно нитевидных кристаллов, что требует, в свою очередь, разработки новых и новых технологических методов получения высокопрочных нитевидных кристаллов в достаточно больших количествах.

Неоспорим тот факт, что сегодня нитевидные кристаллы находят широкий спектр как практических, так и научных применений. В ряде научных исследований они практически незаменимы, но на производстве их широкое применение пока достаточно проблематично.

**Анализ исследований и публикаций.** В материале данной статьи, на основании проведенного литературного обзора [1-18], показаны основные направления использования нитевидных кристаллов на производстве в различных практических спектрах применения, особое внимание при этом уделено использованию нитевидных кристаллов как композиционного материала.

В частности, проведенный обзор показал, что в развитии решения проблемы прочности композиционных материалов большое значение имели работы А.В. Степанова, который еще в 50-х годах прошлого столетия разработал физическую теорию разрушения периодически неоднородных анизотропных сред. При этом композиционные материалы на основе металлических и керамических волокон помимо высокой удельной прочности имеют еще и большое сопротивление распространению трещин, высокую химическую стойкость. Поэтому в современном производстве спектр применения таких композиционных материалов постоянно растет [4].

Действительно наиболее важное свойство нитевидных кристаллов – уникально высокая прочность, в несколько раз превосходящая прочность массивных моно- и поликристаллов. Высокая прочность усов объясняется совершенством их структуры и значительно меньшим, чем у массивных кристаллов, количеством объемных и поверхностных дефектов.

**Формирование целей и задач.** В материале данной статьи в рамках продолжения литературного обзора по проблеме исследования рассматриваются вопросы использования нитевидных кристаллов в современном производстве.

**Литературный обзор.** Достаточно важным направлением современной производственной и опытно-конструкторской деятельности, связанной с использованием вискероов, является разработка нового поколения тканевых электродных материалов для вторичных источников тока.

Их создание требует достижения определенной обменной емкости, высокой подвижности ионов, электронной проводимости, а также живучести, то есть долговечного использования в циклах «разрядка-зарядка». Выращенные минеральные нити имеют почти идеально подходящую структуру, а параметры их кристаллической решетки изменяются таким образом, что ее сжатие и растяжение происходит поперек, а не вдоль нитей, что позволяет избегать их растрескивания. Также помимо удивительных ионно-обменных свойств, вискерам присуща уникальная гибкость.

Волокна вискероов после обработки кислотой и перевода в так называемую «Н-форму» становятся активным сорбентом тяжелых металлов, поскольку структурно способны легко обменивать протоны на катионы с большим радиусом, без затруднений располагающихся в каналах кристаллической структуры, поэтому могут использоваться при утилизации, техногенных и радиоактивных отходов. Одной из важнейших причин малой дефектности нитевидных кристаллов на

производстве являются их размеры, при которых вероятность присутствия дефекта в каждом из кристаллов невелика. В них, в отличие от поликристаллических волокон, не могут идти процессы рекристаллизации, обычно вызывающие резкое падение прочности при высоких температурах.

Производство ионных проводников, катодных материалов, твердофазных электролитов, катализаторов, а, возможно, и матриц для захоронения радиоактивных отходов, – вот лишь некоторые из возможных сфер применения нитевидных кристаллов этого типа. И возможности этих уникальных объектов, которые вот уже более полувека интенсивно изучаются в ведущих лабораториях мира, до конца конечно не исчерпаны.

С точки зрения, как фундаментальной науки, так и практики, вискеры в десятки и даже сотни раз прочнее обычных кристаллов, они обладают поразительной гибкостью, коррозионной стойкостью и кристаллографической анизотропией свойств. Получение «усов» сверхчистых металлов и алмаза, нитевидных кристаллов кремния или сверхпроводящих вискеро-в  $\text{Bi}_2$ ,  $\text{Sr}_2$ ,  $\text{Ca}$ ,  $\text{Cu}_2\text{O}_8$  стало классикой современной химии функциональных материалов.

Подобная необычная форма кристаллов интересна не только с точки зрения исследования механизма ее образования, но и из-за своих специфических физико-химических характеристик, что делает весьма актуальными любые новые исследования в этой области.

Представляя собой одномерную кристаллическую систему, вискеры в современном производстве находят достаточно широкий диапазон применений – от упрочняющих волокон до устройств наноэлектроники. Но, несмотря на то, что нитевидные кристаллы известны более полувека, вискеры технически используются достаточно однобоко – в основном, как армирующие волокна [5].

Еще в 1958 году работы в направлении создания материалов, армированных именно нитевидными кристаллами, успешно проводились американскими и английскими фирмами. Именно тогда в [6-7] были отображены предварительные расчеты свойств гипотетических композиций, которые создавались на основе именно нитевидных кристаллов.

Как показано в [8-13] уже 40-50 лет назад нитевидные кристаллы успешно использовались на производстве как наполнитель в пластиковых, металлических и керамических матрицах. Подавляющее большинство из них в современных условиях успешно применяются для создания конструкционных композитных материалов с улучшенными механическими свойствами (углеродные волокна,  $\text{SiC}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), при этом объемы производства достигают значительных величин.

В последние 20-30 лет успешно развивается направление, связанное с практическим использованием классических кремниевых вискеро-в в качестве острий для атомно-силовой, магнито-силовой микроскопии.

Именно сейчас на производстве достаточно актуальным направлением есть создание одно и двухкомпонентных вискеро-в с полупроводниковыми свойствами ( $\text{GaN}$ ,  $\text{ZnO}$ ,  $\text{InSb}$ ). Несомненная перспективность этого направления связана с развитием химии и физики наносистем, поскольку упорядоченный ансамбль таких нановискеро-в может рассматриваться в качестве системы с уникальными оптическими свойствами, в которых проявляются квантовые эффекты («квантовые точки», «квантовые нити», в ряде случаев такие системы рассматриваются в контексте дизайна «фотонных кристаллов»).

В тоже время до недавних пор практически не существовало воспроизводимых и относительно дешевых способов получения вискеро́в с желаемыми функциональными характеристиками – нелинейными магнитными и (или) электрическими свойствами, а также суперионной проводимостью, что, явилось бы чрезвычайно важным шагом в области создания принципиально новых типов кристаллических материалов.

В большинстве случаев это связано с тем, что на данный момент практически не существует универсальной, качественной методики выращивания «усов» химически сложного состава.

Прогресс в производстве микроэлектроники, в медицине, экологии во многом определяется уровнем разработок в области суперионных проводников. Вискеры, при наличии у них особой кристаллической структуры, обуславливающей смешанную электронно-ионную проводимость, могут быть использованы для создания электродных и мембранных материалов нового поколения в силу уникального сочетания выдающихся механических свойств и суперионной проводимости.

К достоинствам потенциальных электродов из нитевидных кристаллов относятся также возможность легкого придания им желаемой формы и дешевизна. В целом, совокупности указанных требований удовлетворяют гибкие тканевые электроды, полученные из неорганических волокон с туннельной или слоистой структурой, состоящие из элементов, легко изменяющих свою степень окисления (в частности, оксидов d-элементов).

Развитие современного производства показало, что нитевидные кристаллы являются уникальнейшим материалом для изготовления тензодатчиков и достаточно конкретные данные по этому направлению показаны в работах [14-17].

В достаточно популярном научном издании [18] описано успешное использование магнитных вискеро́в в магнитных пленках, дисках. Здесь же показано успешное использование металлических усов в процессе армирования сварных швов, электрических контактов, во время производства бесконтактных ключей, безщеточных двигателей постоянного тока, инфракрасных поляризаторов, термических проводников и их использование в контактных схемах для получения изображения.

**Выводы.** Таким образом, в рамках литературного обзора в статье было положено начало рассмотрения вопросов актуальности применения нитевидных кристаллов на производстве.

В настоящее время в рамках продолжения литературного обзора мною проводится поиск патентной информации по ряду стран, в котором рассмотрены условия выращивания различных неорганических нитевидных кристаллов, анализируются преимущества и недостатки различных способов синтеза нитевидных кристаллов, систематизируется анализ данных относительно вопросов применения вискеро́в в различных отраслях промышленности и в оборонном комплексе.

**Список литературы:** 1. *Бережкова, Г.В.* Нитевидные кристаллы [Текст] / Г. В. Бережкова. – М.: Госиздат, 1969. – 158 с. 2. *Erker, L.* Treatise on Ores and Assaying [Текст] / L. Erker. – 1974. – 162 p. 3. *Де Кастере.* Десять лет под землей [Текст] / Де Кастере. – М.: Госгеографиздат, 1956. – 122 с. 4. *Keller, E.* – *Industr. And Engng. Chem.* [Текст] / E. Keller. – 1964. – №56. – P.9. 5. *Hoffmann, G.A.* – J.

Metals [Текст] / G.A. Hoffmann. – 1958. – №10. – P.591. **6.** Hoffmann, G.A. – Astronautics [Текст] / G.A. Hoffmann. – 1958. – №3. – P. 31. **7.** Hoffmann, G.A. – Neu Sci. [Текст] / G.A. Hoffmann. – 1961. – №9. – P. 40. **8.** Levett, A.P. – Mater. Res. and Standarts [Текст] / A.P. Levett. – 1966. – №6. – P.64. **9.** McCreight, L.R. – Ceramic and Graphite Fibers and Whiskers [Текст]: / L.R. McCreight, H.W. Rauch, W.H. Sutton. – N.Y. – London, Acad. Press, 1965. – 244 p. **10.** Brenner, S.S. – J. Metals [Текст] / S.S. Brenner. – 1962. – №14. – P. 809. **11.** Cratchhley, D. – Met. Rev. [Текст] / D. Cratchhley. – 1965. – №10. – P.79. **12.** Accountius, O.F. – Machine Design. [Текст] / O.F. Accountius. – 1963. – №35. – P.195. **13.** Parratt, N.J. – Powed. Met. [Текст] / N.J. Parratt. – 1964. – №7. – P.152. **14.** Сандулова, А.В. Физика твердого тела [Текст] / А.В. Сандулова, И.И. Марьямова, Ю.И. Загоняч. – Журнал физики. – 1965. – №7. – С. 1581. **15.** Mach. Design. [Текст] / 1960. – №32. – P.27. **16.** Mach. Design. [Текст] / 1960. – №32. – P.19. **17.** Electronics [Текст] / 1961. – №34. – P.68. **18.** Сыркин, В.Г. Материалы будущего: О нитевидных кристаллах металлов [Текст] / В.Г. Сыркин. – М.: Наука, 1990.– 192 с.

Поступила в редколлегию 16.09.2013

УДК 548.31

**Об актуальности применения нитевидных кристаллов в современном производстве / Артемьев С. Р. // Вісник НТУ «ХП». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Х: НТУ «ХП», – 2013. - № 56 (1029). – С.204-208. – Бібліогр.: 18 назв.**

В матеріалі статті в межах продовження літературного огляду за проблемою дослідження розглянуто основні напрямки застосування ниткоподібних кристалів у сучасному виробництві, наголошено на актуальність подальшого проведення досліджень в питаннях розширення спектру використання даного типу кристалів у різних галузях промисловості

**Ключові слова:** ниткоподібні кристали, виробництво, спектр розширення, напрямки використання

In the material of the article in the framework of the continuation of the literature review discussed the basic directions of application of whiskers in the modern production, the urgency of further scientific research in the field of further expansion of spectrum use of thread-like crystals in various industries

**Keywords:** filamentary crystals, production, range extension, the use of

УДК 681.5:519.24

*Д. А. ДЕМІН*, д-р техн. наук, проф., НТУ «ХПИ»

## **УПРАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССОМ ВЫДАЧИ РАСПЛАВА НА ПЛАВИЛЬНО-ЗАЛИВОЧНОМ УЧАСТКЕ ЛИТЕЙНОГО ЦЕХА**

В статье описана схема управления процессом выдачи расплава из электропечи на литейный конвейер, характерной особенностью которой является использование в системе «печь – литейный конвейер» двухпозиционного заливочного автомата и весодозирующего устройства, обеспечивающего выдачу расплава порциями в соответствии с оптимальной технологической схемой плавки. Показано, что применение описанной схемы управления обеспечивает выполнение компромиссного критерия оптимизации, учитывающего как требования по минимизации энергозатрат, так и требования по минимизации простоя конвейера.

**Ключевые слова:** система управления, математическая модель, технологическая схема

**Введение.** Синтез системы управления процессом электроплавки на этапе термовременной обработки расплава должен предполагать реализацию таких процедур, применение которых даёт возможность построения оптимального управления. Такое управление, в числе прочего, должно обеспечивать минимизацию функционала, описывающего суммарные затраты, связанные с перерасходом технологической электроэнергии по причине выдержки в печи-миксере «лишнего»

© Д. А. ДЕМІН, 2013