

автоматизированного комплекса T-Flex. / V. D. Plahtin., I. G. Pankov, A. P. Davydov, A. N. Parshin / SAD/CAM/CAE informacionno analiticheskij PLM zhurnal # 6(36) 2007. – S. 63-66. 6. Syzrantsev V.N. Contact load and endurance of cylindrical gearing with arch-shaped teeth. / V. N. Syzrantsev, K. V. Syzrantseva, M. R. Varshavsky / Proceedings of the International Conference on Mechanical Transmissions. 5–9 April 2010, Chongqing, China. P. 425-43. 7. Plahtin V.D. Izgotovlenie zubchatyh koles s arochnymi zub'jami s primeneniem pal'cevyh frez. / V.D. Plahtin, A. P. Davydov, A. N. Parshin / Tehnologija mashinostroenija. – 2008 . – # 6. – S. 12–15. 8. Matjushenko N.V. Arochnye zub'ja s cikloidal'noj prodol'noj formoj. / N.V. Matjushenko, V.A. Berezhnoj, A.V. Fedchenko / Vestnik NTU "HPI": Sb. nauchn. trudov. Tem. vyp. "Problemy mehanicheskogo privoda". – Har'kov, 2013. – # 40. – S.75–79.

Поступила (received) 12.09.2014

УДК 548.31

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

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ МАГНИТНЫХ И ОПТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ НИТЕВИДНЫХ КРИСТАЛЛОВ

В материале статьи в рамках продолжения выполнения литературного обзора рассмотрены результаты проведенных исследований магнитных и оптических свойств различных групп нитевидных кристаллов, проанализирована зависимость их магнитных свойств, как от поверхностного, так и от объемного совершенства, детализирована проблема накопления F-центров в нитевидных кристаллах под действием ионизирующего излучения.

Ключевые слова: нитевидные кристаллы, оптические свойства, магнитные свойства, люминесценция, ферромагнитный резонанс, магнитная структура.

Введение. Проведенный анализ публикаций [1-35] показал, что по состоянию на окончание 20 века работ, специально посвященных изучению магнитных и оптических свойств нитевидных металлических (и других) кристаллов было не так много, причем основная масса из них иностранного происхождения и труднодоступна.

Если брать источники, например, более современного характера, то в [1] авторами рассмотрены перспективные направления использования «вискеров» именно с учетом влияния их характеристик на развитие конкретных направлений научных исследований, в том числе в области оптики.

В [2] коллективом авторов рассмотрены вопросы технологий обработки нитевидных кристаллов, возможности создания биосовместимых материалов, а также исследованы оптические свойства нитевидных кристаллов как наноматериалов. В диссертационной работе [3] ученым Номери М. достаточно углубленно рассматриваются физические свойства монокристаллов и особенное внимание уделено оптическим свойствам. В работе [4] достаточно углубленно обговаривались вопросы, связанные с особенностями оптических спектров некоторых нитевидных нанокристаллов, а в работе [5] по схожим группам нитевидных кристаллов обсуждались вопросы, в том числе и результатов проведенных оптических исследований нановолокон кристаллов SnO₂.

© С. Р. АРТЕМЬЕВ, 2014

Цель работы. Целью данной работы есть продолжение выполнения литературного обзора по проблеме исследования магнитных и оптических свойств некоторых групп нитевидных кристаллов. В результате проведенного обзора обобщены выводы по проведенным исследованиям магнитных и оптических свойств различных групп нитевидных кристаллов, рассмотрена характеристика зависимости их магнитных свойств, как от поверхностного, так и от их объемного совершенства, детально обсуждены вопросы накопления F-центров в нитевидных кристаллах под воздействием ионизирующего излучения.

Существующие представления о магнитных и оптических свойствах нитевидных кристаллов и их обсуждение. Многие магнитные свойства нитевидных кристаллов являются структурно-чувствительными и сильно зависят как от поверхностного, так и от объемного совершенства того или иного кристалла. Поэтому ожидать проявления особых магнитных свойств нитевидных кристаллов вполне естественно.

Изучение магнитных свойств нитевидных кристаллов многими исследователями проводилось преимущественно на железе [6–18]. Главным методом выявления доменов служил метод магнитных порошков, позволяющий обнаруживать не только доменную структуру, но и движение стенок доменов. Наиболее тонкие нитевидные кристаллы ($< 2 \text{ мк}$) могут быть монодоменными.

Величина внешнего перемангничивающего поля, при котором происходит зарождение нового домена в ферромагнетике, так называемая коэрцитивная сила чувствительна к совершенству материала. В чистом железе коэрцитивная сила обычно лежит в пределах от 0,01 до 1 э. Теоретическая же величина при температуре плюс 25°C равна 560 э [19].

Такое расхождение объясняется локальным возрастанием величины магнитного поля на поверхностных дефектах. Это приводит в итоге к неоднородному зарождению доменов и значительному снижению коэрцитивной силы. Французские исследователи Де-Блуа и Грахам в 1959 году экспериментально показали, что действительно зарождение доменов имеет место у поверхностных дефектов, возникших в кристалле в процессе роста или искусственно введенных.

Величина коэрцитивной силы непостоянна вдоль длины образца и изменяется при нагреве образца, сопровождающемся изменением его формы, а также после его химической полировки. Коэрцитивная сила снижается с увеличением толщины образца. В толстых нитевидных кристаллах она не отличается от коэрцитивной силы обычных материалов. Максимальная измеренная величина критического поля для зарождения домена в совершенном участке монодоменного нитевидного кристалла оказалась равной 504 э, что только на 10 % ниже теоретической величины, что было указано тем же Де-Блуа.

Структурно-чувствительным свойством является также скорость перемещения стенок доменов. Из-за взаимодействия с неоднородностями происходит торможение движения стенок доменов. В обычных кристаллах домены перемещаются со скоростью, не превышающей 0,5 км/сек.

В нитевидных кристаллах Fe, по данным опять-таки Де-Блуа, она достигает 50 км/сек. Де-Блуа подробно изучил влияние различных факторов на скорость перемещения доменов. Исследователь данной проблемы Фовлер и др. обнаружили

на нитевидных кристаллах эффект влияния формы поверхности на устойчивость доменной структуры.

В нитевидных кристаллах Fe при перемагничивании домены продолжали существовать у вершины кристалла даже в полях напряженностью 6000 э, когда считалось, что кристалл насыщен.

Такие участки служат зародышами новых доменов при перемагничивании и так же, как и дефекты поверхности, снижают коэрцитивную силу.

В нитевидных кристаллах Co доменную магнитную структуру изучали ученые Кацер и др. [20, 21]. Они обнаружили, что зависимость ширины домена от толщины образца подчиняется степенному закону $2/3$, а не $1/2$, как это предсказывает теория.

Нитевидные кристаллы в силу ряда их особенностей, таких как малое количество дефектов, малые размеры, малые вихревые токи в нунешних условиях стали таким объектом, в котором удалось наблюдать даже слабые диамагнитные эффекты. К таким явлениям относится, например, эффект Хааза-ван Альфена – периодическое изменение магнитной восприимчивости с изменением напряженности магнитного поля, наблюдающееся только при низких температурах, когда оно не маскируется другими более сильными магнитными эффектами.

Ученый Шёнберг в [22] первым наблюдал эффект Хааза-ван Альфена на нитевидных кристаллах Si. Эффект был обнаружен на образцах только одной ориентировки $\langle 111 \rangle$.

В 1963 году учеными Андерсоном и Голдом [23] впервые наблюдался этот эффект на ферромагнитном материале, используя при этом в качестве объекта нитевидные кристаллы Fe ориентации $\langle 110 \rangle$. Измерения проводились при 1–2° К импульсным методом в условиях резонанса в поле напряженностью 200 кгс. Периодичность колебаний магнитной восприимчивости не точно совпадала с изменением магнитного поля.

В 1964 году исследователями Люборски и Морелок [24] в опытах по намагничиванию нитевидных кристаллов Fe и сплавов Fe — Co было показано, что зависимость коэрцитивной силы, остаточной магнитной индукции и гистерезиса от толщины образцов при хаотическом их расположении хорошо совпадает с расчетными данными для вихревой модели в кристаллах тоньше 1000 Å. Эти данные дали в то время первое экспериментальное подтверждение существования вихревого намагничивания, о котором говорилось исключительно в теории.

На нитевидных кристаллах Fe толщиной от 40 до 400 мк трех различных ориентировок $\langle 100 \rangle$, $\langle 110 \rangle$, $\langle 111 \rangle$ исследователями Айсинем и Кольменом в [25] исследовалось влияние магнитного поля на электропроводность. Полученные ими результаты свидетельствовали о незамкнутых поверхностях Ферми.

На нитевидных кристаллах Fe учеными Родбеллом [26, 27] и Фрайтом [28], а на Co – Фрайтом [29] и Симанеком [30] исследовались особенности ферромагнитного и магнитного ядерного резонанса. Известно, что ширина резонансных линий чувствительна к объемному и поверхностному совершенству образца. Во всех указанных работах установлено, что ширина резонансных линий

у нитевидных кристаллов всегда уже, иногда и на порядок, чем у макрокристаллов, что подтверждает высокое совершенство их структуры.

Фрайт при измерении ферромагнитного резонанса в нитевидных кристаллах Co толщиной от 6 до 100 мк в своих исследованиях показал, что ширина резонансной линии изменялась от 75 до 1000 э и наиболее узкие полосы соответствовали образцам с наиболее совершенной поверхностью.

Нитевидные кристаллы удобны для изучения ферромагнитного резонанса из-за отсутствия у них эффектов пластической деформации, вносящих искажение в структуру образца, о чем уже говорилось в моих предыдущих статьях литературного обзора. Симанек установил также, что интенсивность резонанса в нитевидных кристаллах Co гексагональной фазы больше, чем в микрокристаллах [30].

Проведенный литературный обзор в области оптики нитевидных кристаллов показал, что в целом работ, посвященных изучению их оптических свойств, достаточно мало.

Так, люминесценцию в нитевидных кристаллах NaCl , активированных серебром, впервые наблюдала советский ученый Р.И. Гиндина в 1961 году [31]. Кристаллы ей выращивались из водного раствора, содержащего AgCl , через пористую перегородку – целлофан. Поскольку нитевидные кристаллы имели малую длину (3 – 5 мм), изучение свечения отдельных образцов не проводилось. Наблюдалось голубое свечение всей массы выросших кристаллов при облучении ультрафиолетом.

Подробное изучение люминесцентных свойств нитевидных кристаллов NaCl было проведено также Г. Лидером, Г. Бережковой и В. Рожанским, о чем указано в [32]. Неравномерность расположения активатора в кристалле проверялась на отдельных образцах в ультрафиолетовом микроскопе. Оказалось, что при росте из раствора активирующая примесь входит в кристалл неравномерно и создает отдельные яркие области свечения, что представлено на рис. 1. Из-за малого объема интенсивность свечения отдельных кристаллов очень слаба, поэтому спектры люминесценции снимались с группы нитевидных кристаллов, собранных в пучок.

Проведенные исследования показали, что закономерности спектров свечения нитевидных кристаллов не отличались от наблюдаемых у объемных кристаллофосфоров.

Максимумы свечения нитевидных кристаллов совпадали с максимумами свечения массивных кристаллов, с увеличением концентрации активатора максимум спектра свечения смещалась в длинноволновую область.

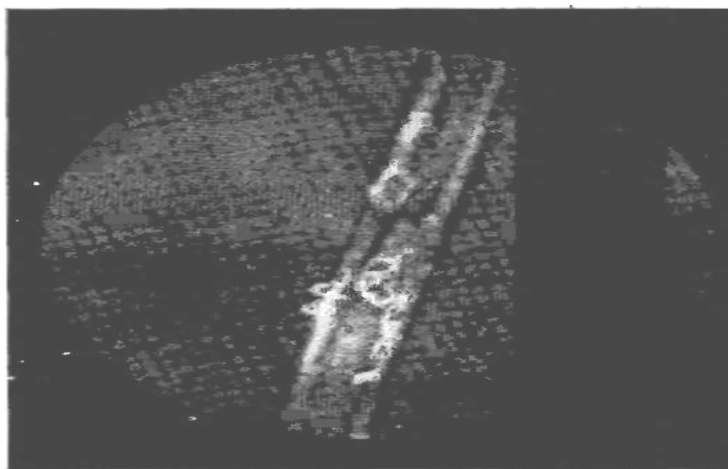


Рис. 1 – Неоднородности люминесценции нитевидных кристаллов NaCl [19, 32]

Рейнольдс и Грин [33] установили отсутствие краевой люминесценции в нитевидных кристаллах CdS, которая в обычных кристаллах приписывается присутствию вакансий на местах ионов серы. В нитевидных кристаллах появление краевой люминесценции вызывало только облучение их протонами с энергией 1 МэВ, достаточной для образования вакансий, как на местах ионов серы, так и кадмия.

Советские исследователи Гольденберг и Мелик-Гайказян в [34] исследовали процесс накопления F-центров в нитевидных кристаллах NaCl. Накопление F-центров в нитевидных кристаллах под действием ионизирующего излучения происходило в две стадии, причем вторая стадия связана с локализацией электронов на ионных вакансиях, генерируемых при облучении.

Поскольку во время действия механизма радиационного образования важную роль играют дислокации, ими была предпринята попытка провести эксперимент на малодислокационных или бездислокационных объектах. Для этого были взяты нитевидные кристаллы NaCl, полученные тремя различными способами:

- осаждением из газовой фазы;
- выращенные из водного раствора через пористую перегородку;
- и, так называемые, «усы раскола».

Оказалось, что каждому способу получения нитевидных кристаллов соответствует своя характерная кривая кинетики накопления F-центров, что показано на рис. 2. Закономерности накопления F-центров в нитевидных кристаллах, выращенных из растворов, и макрокристаллах одинаковы.

Но в некоторых образцах толщиной 20 – 30 мк накопление F-центров происходит так же, как и в нитевидных кристаллах, полученных из газовой фазы.

В 1963 году исследователь Балларо и др. [35] исследовали особенности образования центров окрашивания при рентгеновском облучении нитевидных кристаллов KCl. Было обнаружено лишь небольшое отличие от обычных монокристаллов в ходе кривой поглощения. Это обстоятельство было связано с тем, что исследовались довольно толстые образцы в 10 – 80 мк, не обладающие высоким совершенством структуры. Плотность дислокаций в них по данным травления достигала $1,5 \cdot 10^5 \text{ см}^{-2}$, а высокая степень окрашивания исследованных образцов свидетельствовала о значительной первоначальной концентрации вакансий.

Выводы. Подводя итог материалу обзора по проблеме исследования, следует отметить, что учет таких важных свойств нитевидных кристаллов как магнитные и оптические свойства, в целом позволит более качественно решить ряд

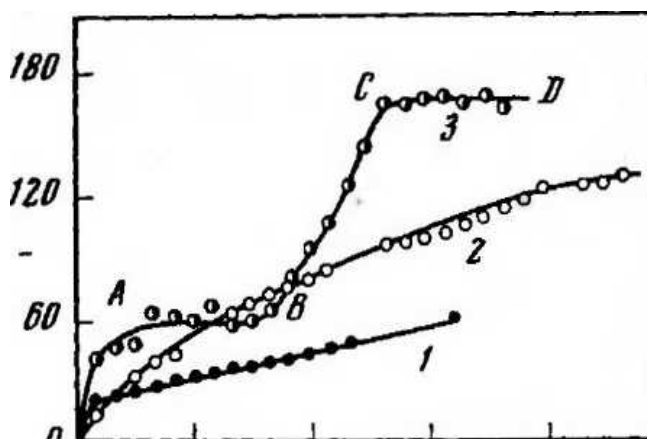


Рис. 2 – Кинетика накопления F-центров в «усах раскола» (1) и нитевидных кристаллах NaCl, выращенных из раствора (2) и из газовой фазы (3) [19, 34]

существенных задач, к которым можно отнести:

1. Разработку технологии получения нитевидных кристаллов с заданными характеристиками на основе метода газового транспорта.

2. Установление закономерностей роста нитевидных и других форм кристаллов.

3. Изучение зависимости морфологии и оптических свойств нитевидных кристаллов от условий их получения.

4. Установление структуры локализованных электронных состояний отдельных групп нитевидных кристаллов.

5. Оптимизацию технологических параметров синтеза для получения нитевидных кристаллов с заданными характеристиками.

6. Синтез нитевидных кристаллов и гетероструктур на их основе.

7. Исследование особенностей роста нитевидных оксидных полупроводников и гетероструктур на их основе.

8. Исследование оптических свойств нитевидных кристаллов в сравнении с другими кристаллическими формами.

Список литературы: 1. 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. 2. 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 / редкол.: Е. А. Гудилин.– Москва.– ФГУ «Российский научный центр «Курчатовский институт». 3. 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. 4. 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. 5. 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. 6. Coleman, R. V. Article [Text] / R. V. Coleman, G. G. Scott // Phys. Rev. – 1957. – Vol. 107. – P. 1276. 7. Scott, G. G. Article [Text] / G. G. Scott, R. V. Coleman // J. Appl. Phys. – 1957. – Vol. 28. – P. 1512. 8. Coleman, R. V. Article [Text] / R. V. Coleman, G. G. Scott // J. Appl. Phys. – 1958. – Vol. 29. – P. 526. 9. De Blois, R. W. Article [Text] / R. W. De Blois // J. Appl. Phys. – 1958. – Vol. 29. – P. 459. 10. De Blois, R. W. Article [Text] / R. W. De Blois // J. Appl. Phys. – 1958. – Vol. 29. – P. 528. 11. De Blois, R. W. Article [Text] / R. W. De Blois, C. D. Graham // J. Appl. Phys. – 1958. – Vol. 29. – P. 931. 12. De Blois, R. W. Growth and Perfection of Crystals [Text] / R. W. De Blois, C. D. Blois // N. Y. John Willey. – 1959. – Vol. 33. – P. 179. 13. De Blois, R. W. Growth and Perfection of Crystals [Text] / R. W. De Blois, C. P. Bean // N. Y., John Willey. – 1959. – Vol. 12. – P. 253. 14. De Blois, R. W. Article [Text] / R. W. De Blois, C. P. Bean // J. Appl. Phys. – 1959. – Vol. 30. – P. 144–145. 15. De Blois, R. W. Article [Text] / R. W. De Blois // J. Appl. Phys. – 1961. – Vol. 32. – P. 1561. 16. Fowler, C. A. Article [Text] / C. A. Fowler, E. M. Fryer, D. Treves // J. Appl. Phys. – 1960. – Vol. 31. – P. 2267. 17. Fowler, C. A. Article [Text] / C. A. Fowler, E. M. Fryer, D. Treves // J. Appl. Phys. – 1961. – Vol. 32. – P. 296. 18. Kaczer, J. Article [Text] / J. Kaczer, R. Gemperle // Czech. J. Phys. – 1959. – Vol. 9. – P. 306. 19. Бережкова, Г. В. Нитевидные кристаллы [Текст] / Г. В. Бережкова. – М.: Госиздат, 1969. – 158 с. 20. Kaczer, J. Article [Text] / J. Kaczer, R. Gemperle, Z. Hayhtman // Czechosl. J. Phys. – 1959. – Vol. 9. – P. 606. 21. Гауптман, З. Рост кристаллов. Т. III [Текст] / З. Гауптман, Я.

Кацер, Р. Гемперле. – Изд-во АН СССР, 1961. – 159 с. **22.** *Shoenberg, D.* Article [Text] / *D. Shoenberg // Nature.* – 1959. – Vol. 183. – P. 171. **23.** *Anderson, J. R.* Article [Text] / *J. R. Anderson, A. V. Gold // Phys. Rev. Letters.* – 1963. – Vol. 10. – P. 227. **24.** *Luborsky, F. E.* Article [Text] / *F. E. Luborsky, C. R. Morelock // J. Appl. Phys.* – 1964. – Vol. 35. – P. 2055. **25.** *Ison, A.* Article [Text] / *A. Ison, R. V. Coleman // Phys. Rev.* – 1965. – Vol. 137. – P. 1609. **26.** *Rodbell, D. S.* Article [Text] / *D. S. Rodbell // Appl. Phys.* – 1959. – Vol. 30. – P. 187. **27.** *Rodbell, D. S.* Growth and Perfection of Crystals [Text] / *D. S. Rodbell // N. Y., John Willey.* – 1959. – Vol. 4. – P. 247. **28.** *Frait, Z.* Article [Text] / *Z. Frait // Czech. J. Phys.* – 1964. – Vol. 14. – P. 205. **29.** *Frait, Z.* Article [Text] / *Z. Frait // Czech. J. Phys.* – 1960. – Vol. 10. – P. 546. **30.** *Simanek, E.* Article [Text] / *E. Simanek // Czech. J. Phys.* – 1962. – Vol. 12. – P. 81. **31.** *Гиндина, Р. И.* Исследования по люминесценции [Текст] / *Р. И. Гиндина // Журнал прикладной физики.* – 1961. – № 2. – С. 148–152. **32.** *Лидер, В. В.* Статья [Текст] / *В. В. Лидер, Г. В. Бережкова, В. Н. Рожанский // Физика твердого тела.* – 1963. – № 5. – С. 1479. **33.** *Reynolds, D. S.* Article [Text] / *D. S. Reynolds, L. C. Greene // Bull. Amer. Phys. Soc.* – 1958. – Vol. 3. – P. 108. **34.** *Гольденберг, С. У.* Статья [Текст] / *С. У. Гольденберг, И. Я. Мелик-Гайказян // Физика твердого тела.* – 1964. – № 6. – С. 3484. **35.** *Ballaro, S. J.* Article [Text] / *S. Ballaro, G. Chiarotti, G. Cubiotti, V. Grasso // Phys. Chem. Solids* – 1965. – Vol. 26. – P. 729.

Bibliography (transliterated): **1.** *Shishelova, T. I., Stepanova, N. E., Plynskaja, D. A., Beljaeva, M. A.* (2009). Nitevidnye kristally. *Uspehi sovremennogo estestvoznaniya*, 8, 12–13. **2.** Nitevidnye kristally (2007). *Issledovanija i razrabotki po prioritetnomu napravleniju razvitija nauki, tehnologij i tehniki. Industrija nanosistem i materialy.* – Moskva. – FGU «Rossijskij nauchnyj centr «Kurchatovskij institut». **3.** *Nomeri, Mohamed Abass Hadija* (2011). *Poluchenie i issledovanie opticheskikh svojstv poluprovodnikovyx oksidov ZnO₂ i Zn₂O₃.* Voronezh., 128. **4.** *Rjabcev, S. V., Hadija, N. M. A., Chernyshov, F. M., Rjabcev, S. V., Domashevskaja, Je. P.* (2009). Osobennosti opticheskikh spektrov nitevidnyh nanokristallov SnO₂. Nelinejnye processy i problemy samoorganizacii v sovremennom materialovedenii (industrija nanosistem i materialy). Voronezh, 308–311. **5.** *Domashevskaja, Je. P., Hadija, N. M. A., Seredin, P. V., Rjabcev, S. V.* (2008). Morfologicheskie, strukturnye i opticheskie issledovanija nanovolokon SnO₂, sintezirovannyh iz poroshka SnO. *Fagran – 2008: Fiziko-himicheskie processy v kondensirovannom sostojanii i na mezhfaznyh granicah.* Voronezh, 367–371. **6.** *Soleman, R. V., Scott, G. G.* (1957). Article. *Phys. Rev.*, 107, 1276. **7.** *Scott, G. G., Soleman, R. V.* (1957). *J. Appl. Phys.*, 28, 1512. **8.** *Soleman, R. V., Scott, G. G.* (1958). Article. *J. Appl. Phys.*, 29, 526. **9.** *De Vlois, R. W.* (1958). Article. *J. Appl. Phys.*, 29, 459. **10.** *De Vlois, R. W.* (1958). Article. *J. Appl. Phys.*, 29, 528. **11.** *De Vlois, R. W., Graham, C. D.* (1958). Article. *J. Appl. Phys.*, 29, 931. **12.** *De Vlois, R. W., Vlois, C. D.* (1959). *Growth and Perfection of Crystals.* N. Y. John Willey, 33, 179. **13.** *De Vlois, R. W., Vean, S. P.* (1959). *Growth and Perfection of Crystals.* N. Y., John Willey, 12, 253. **14.** *De Vlois, R. W., Vean, S. P.* (1959). Article. *J. Appl. Phys.*, 30, 144–145. **15.** *De Vlois, R. W.* (1961). Article. *J. Appl. Phys.*, 32, 1561. **16.** *Fowler, C. A., Fruer, E. M., Treves, D.* (1960). Article. *J. Appl. Phys.*, 31, 2267. **17.** *Fowler, C. A., Fguer, E. M., Treves, D.* (1961). Article. *J. Appl. Phys.*, 32, 296. **18.** *Kaczer, J., Gemperle, R.* (1959). Article. *Czech. J. Phys.*, 9, 306. **19.** *Berezhkova, G. V.* (1969). Nitevidnye kristally. Moscow: Gosizdat, 158. **20.** *Kaczer, J., Gemperle, R., Hayhtman, Z.* (1959). Article. *Czechosl. J. Phys.*, 9, 606. **21.** *Gauptman, Z., Kacer, Ja., Gemperle, P.* (1961). *Rost kristallov.* Vol. III. Izd-vo AN SSSR, 159. **22.** *Shoenberg, D.* (1959). Article. *Nature*, 183, 171. **23.** *Anderson, J. R., Gold, A. V.* (1963). Article. *Phys. Rev. Letters*, 10, 227. **24.** *Luborsky, F. E., Morelock, C. R.* (1964). Article. *J. Appl. Phys.*, 35, 2055. **25.** *Ison, A., Soleman, R. V.* (1965). Article. *Phys. Rev.*, 137, 1609. **26.** *Rodbell, D. S.* (1959). Article. *Appl. Phys.*, 30, 187. **27.** *Rodbell, D. S.* (1959). *Growth and Perfection of Crystals.* N. Y., John Willey, 4, 247. **28.** *Frait, Z.* (1964). Article. *Czech. J. Phys.*, 14, 205. **29.** *Frait, Z.* (1960). Article. *Czech. J. Phys.*, 10, 546. **30.** *Simanek, E.* (1962). Article. *Czech. J. Phys.*, 12, 81. **31.** *Gindina, R. I.* (1961). *Issledovanija po ljuminescencii.* *Zhurnal prikladnoj fiziki*, 2, 148–152. **32.** *Lider, V. V., Berezhkova, G. V., Rozhanskij, V. N.* (1963). Article. *Fizika tverdogo tela*, 5, 1479. **33.** *Reynolds, D. S., Greene, L. C.* (1958). Article. *Bull. Amer. Phys. Soc.*, 3, 108. **34.** *Gol'denberg, S. U., Melik-Gajkazjan, I. Ja.* (1964). Article. *Fizika tverdogo tela*, 6, 3484. **35.** *Ballaro, S. J., Chiarotti, G., Cubiotti, G., Grasso, V.* (1965). Article. *Phys. Chem. Solids*, 26, 729.

Поступила (received) 12.09.2014