

8.4. Ядерно-физические методы и физические свойства наноструктур

Н.Г. Чеченин, chechenin@sinp.msu.ru

Наиболее значимые результаты по теме 8.4, опубликованные в 2016 году.

1. Наименование результата:
2. Перечень авторов:
3. Краткое описание результата:
4. Ссылки на публикации и доклады:
5. Иллюстрация

1.

1. **Разработка высокоэффективных фильтров нового типа на основе углеродных нанотрубок для очистки воды от металлических загрязнений.**
2. Emad.M. Elsehly, N.G. Chechenin, A.V. Makunin, H.A.Motaweh, E.A. Vorobyeva, K.A. Bukunov, E.G. Leksina, A.B. Priselkova
3. В опубликованном в 2016 г. цикле работ разработаны фильтры нового типа на основе углеродных нанотрубок (УНТ) для очистки воды от металлических (Cr, Mn, Fe, Co, Ni) и органических загрязнений. Исследованы зависимости эффективности очистки от pH раствора, концентрации в нем загрязняющих примесей, предварительной обработки, как различными растворителями, так и воздействием ионных и электронных пучков. Морфологические и композиционные изменения, возникновение функциональных групп, закрепляющихся на поверхности УНТ, отслеживались с помощью электронной, оптической микроскопии, электронно-дисперсионного анализа, Рамановской спектроскопии и инфракрасной Фурье-трансформационной спектроскопии. Установлено, что при оптимальных условиях предварительной обработки УНТ эффективность очистки может достигать 90%. Установлено, что основным механизмом является адсорбционный механизм, эффективность которого можно повысить «правильной» функционализацией УНТ.
4. E.M. Elsehly, N.G. Chechenin, A.V. Makunin et.al, *Chinese Journal of Chemical Engineering*, 24 (2016) 1695–1702, Impact Factor: 1.207, <http://dx.doi.org/10.1016/j.cjche.2016.05.017> ; *Materials Research Express*, (2016) v. 3, с. 105013-1-105013-5; *Water Science and Technology: Water Supply*, 16.2 (2016), p.347-353, doi: 10.2166/ws.2015.143. (2014 / 2015 Impact Factor=0.532); *J. of Nanomaterials & Molecular Nanotechnology*, 2016 том 5, № 3, с. 28-33 DOI: <http://dx.doi.org/10.4172/2324-8777.1000184>, IF=1.06
5. Иллюстрация

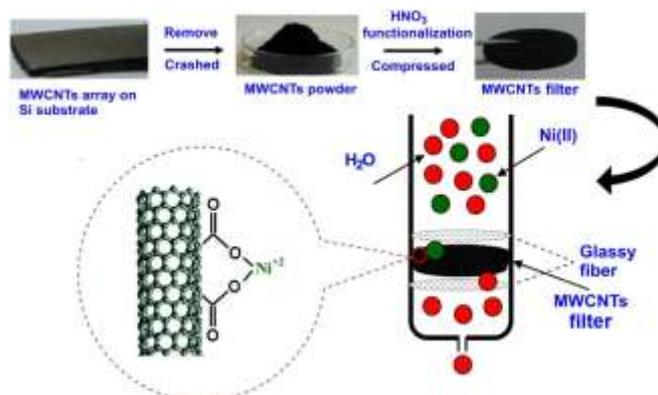
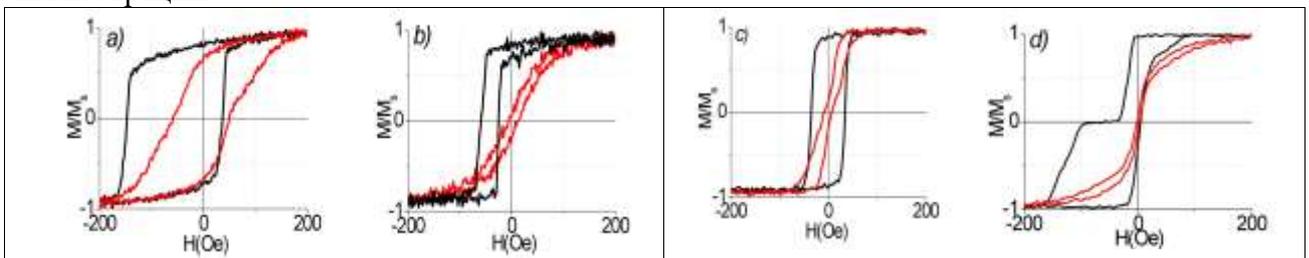


Иллюстрация этапов создания фильтров на основе углеродных нанотрубок и пояснение механизма фильтрации.

2.

1. **Зависимость обменного смещения и коэрцитивности от толщины антиферромагнитного слоя в би- и три-слоенных магнитных структурах на основе IrMn and NiFe.**
2. К. Гриценко, И. Джунь, Г. Бабайцев, Н. Чеченин, В. Родионова
3. Исследована зависимость магнитных свойств двух- и трехслойных структур на основе NiFe и IrMn от толщины антиферромагнитного (АФ) слоя IrMn. Наибольшее обменное смещение было найдено при толщине IrMn слоя в 10 нм в структуре NiFe/IrMn/NiFe. Установлено, что магнитные свойства зависят не только от толщины АФ слоя, но и от порядка осаждения слоев, что, по-видимому, обусловлено вариацией шероховатости интерфейсов Ф/АФ, текстуры и размеров зерен в пленках.
4. Physics Procedia, 82 (2016) 51 – 55
5. Иллюстрация.



Гистерезисные петли для двух взаимно-перпендикулярных направлений, легкого (красная петля) и трудного (черная петля) намагничивания: а) IrMn/NiFe at $t(\text{AF})=8$ нм; б) NiFe/IrMn at $t(\text{AF})=8$ нм; в) NiFe/IrMn/NiFe at $t(\text{AF})=4$ нм and д) NiFe/IrMn/NiFe at $t(\text{AF})=8$ нм.

3.

1. **Исследование магнитного сверхтонкого расщепления основного и первого возбужденного уровней ядра ^{229}Th в мюонном атоме ($\mu_{1s}^- ^{229}\text{Th}$)*.**
2. E.V. Tkalya.
3. Изучено магнитное сверхтонкое расщепление основного $5/2^+(0.0)$ и низколежащего $3/2^+(7.8 \pm 0.5 \text{ eV})$ уровней ядра ^{229}Th в мюонном атоме ($\mu_{1s}^- ^{229}\text{Th}$)*, приводящее к ряду нетривиальных эффектов. Обнаружено, что учет распределенности дипольных магнитных моментов основного и низколежащего изомерного состояний по объему ядра ^{229}Th приводит к не имеющему аналогов радикальному уменьшению величины сверхтонкого расщепления между подуровнями изомерного состояния $3/2^+(7.8 \text{ эВ})$ и даже изменению порядка следования указанных подуровней (инверсии). Кроме того, расщепление основного состояния оказывается столь сильным, что верхний подуровень с $F=3$ занимает верхнее положение на шкале энергий по сравнению с другими подуровнями основного и изомерного состояний. При этом открывается канал распада основного состояния в изомерное. Это уникальная ситуация, и в других ядрах она не наблюдается. Квантовомеханическое смешивание состояний с $F=2$ усиливает инверсию, существенно увеличивая расстояние как между подуровнями с $F=2$, так и между подуровнями изомерного состояния. Расчет выполнен с учетом распределения ядерной намагниченности в рамках коллективной модели ядра с волновыми функциями модели Нильссона для неспаренного нейтрона.

4. Anomalous magnetic hyperfine structure of the ^{229}Th ground-state doublet in muonic atoms. Phys. Rev. A **94**, N1, 012510 (2016).

4.
1. Расчет сверхтонкой структуры низколежащего дублета уровней $5/2+(0.0)$ и $3/2+(7.8 \text{ эВ})$ ядра ^{229}Th в высокозарядных ионах тория $89+$ и $87+$.

2. E.V. Tkalya and A.V. Nikolaev.

3. Выполнены прецизионные расчеты сверхтонкой структуры низколежащего дублета уровней $5/2+(0.0)$ и $3/2+(7.8 \text{ эВ})$ ядра ^{229}Th в высокозарядных ионах тория $89+$ и $87+$. Вычисления сделаны с учетом эффекта Бора-Вайскопфа (распределенный по объему ядра магнитный момент основного и изомерного состояний) и динамического эффекта объема ядра (он же эффект проникновения). Первый существенно уменьшает величину сверхтонкого расщепления. Второй эффект принципиально важен при расчете взаимодействия ядерного и электронного токов перехода между состояниями с одинаковым квантовым числом F . Именно это взаимодействие приводит к смешиванию состояний с $F=2$, и от его величины зависит дополнительное смещение, увеличивающее расстояние между подуровнями. Полученная схема расщепления и интенсивности переходов между подуровнями дают возможность измерения параметров изомерного состояния в высокозарядных ионах $^{229}\text{Th}^{89+,87+}$ в накопительных кольцах ускорителей тяжелых ионов.

4. Magnetic hyperfine structure of the ground-state doublet in highly charged ions $^{229}\text{Th}^{89+,87+}$ and the Bohr-Weisskopf effect. Phys. Rev. C **94**, N1, 014323 (2016).

5.
1. Эксперимент по возбуждению низколежащего изомерного состояния в ядре Th-229 электронным пучком.

2. P.V. Borisyuk, O.S. Vasilyev, Y.Y. Lebedinskii, A.V. Krasavin, E.V. Tkalya, V.I. Troyan, R.F. Nabibulina, E.V. Chubunova, and V.P. Yakovlev.

3. Обсуждается идея возбуждения ядра Th-229 на низколежащее состояние $3/2+(7.8 \text{ эВ})$ в тонкой диэлектрической мишени $\text{ThSi}_{10}\text{O}_{22}$ низкоэнергетическим электронным пучком. Исследования мишени показали устойчивость ее зонной структуры при длительном воздействии интенсивного электронного облучения. Ожидается высокий выход изомерных ядер тория за счет образования вторичных электронов, также способных возбуждать низколежащее состояние в Th-229.

4. Thorium silicate compound as a solid-state target for production of isomeric thorium-229 nuclei by electron beam irradiation. AIP Advances **6**, 095304 (2016).

6.
1. Термоэлектрические и структурные свойства тонких пленок из металлических нанокластеров.

2. P.V. Borisyuk, A.V. Krasavin, E.V. Tkalya, Yu.Yu. Lebedinskii, O.S. Vasiliev, V.P. Yakovlev, T.I. Kozlova, V.V. Fetisov.

3. Исследованы структура и термоэлектрические свойства тонких пленок из плотно упакованных нанокластеров ряда металлов (Au, Pd и Pt). Полученные данные позволили оценить термо-ЭДС такой пленки. Показано, что указанные пленки могут выступать в качестве высокоэффективных термоэлектрических материалов.

Предложена схема миниатюрного радиоизотопного термоэлектрического источника питания на основе Th-228. Эффективность ядерной батареи с термоэлектрическим

преобразователем на основе металлических пленок из нанокластеров может достигать значений 1.3%. Расчетные характеристики такого устройства сравнимы с параметрами обычной радиоизотопной батареи на основе Ni-63.

4. Nanocluster metal films as thermoelectric material for radioisotope mini battery unit. *Chemical Physics* **478**, 2-7 (2016).

7.

1. **Модификация поверхностей углеродных материалов высокодозной ($10^{18} - 10^{19}$ ион/см²) бомбардировкой ионами инертных газов с пробегами в десятки нанометров**

2. Андрианова Н.Н., Аникин К.А., Борисов А.М., Машкова Е.С., Казаков В.А., Машкова Е.С., Овчинников М.А.

3. Экспериментально исследованы изменения структуры, морфологии, удельной поверхности и прочности углеродных ПАН-волокон композита КУП-ВМ при высокодозной обработке ионами Ne⁺ и Ar⁺ с энергиями 10 - 30 кэВ в диапазоне температур от комнатной до 400°C. В зависимости от температуры облучения и уровня радиационных нарушений, определяемым числом смещений на атом (СНА, dpa) наблюдаются процессы аморфизации, рекристаллизации и гофрирование волокна. Для исследования этих процессов наряду с электронно-микроскопическими методами анализа, использовали спектроскопию комбинационного рассеяния (КР) лазерного излучения с длиной волны 514,5 нм. При температурах меньше температуры динамического отжига радиационных нарушений T_a в графитах высокодозное ионное облучение приводит к аморфизации поверхностной оболочки волокна. Повышение температуры облучения ($T > T_a$) при увеличении уровня радиационных нарушений приводит к рекристаллизации, а затем и к гофрированию углеродного волокна, сопровождаясь уменьшением интенсивности аморфного пика.

4. *Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования*, № 4, с. 1-5; *Journal of Physics: Conference Series*, v. 747, № 1, с. 1-5; *J. of Surface Investigation. X-ray, Synchrotron and Neutron Techniques*, v.10, № 2, с. 412-416

5. Иллюстрация:

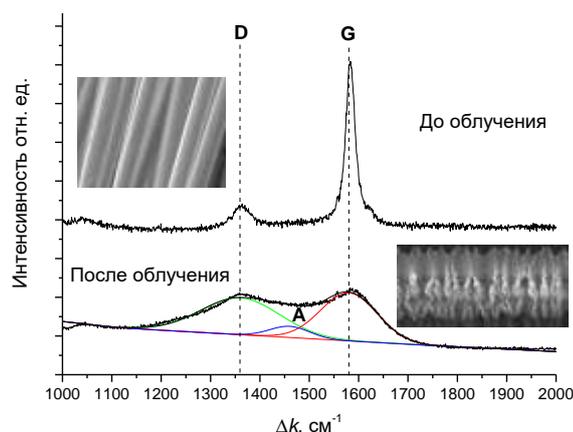


Рис.1. РЭМ изображения и КР-спектры углеродного ПАН-волокна композита КУП-ВМ до и после облучения ионами аргона энергии 30 кэВ при температуре 250°C