Первов Николай Валериевич. Полиэтилентерефталатные трековые мембраны с заданной формой пор и металлические шаблонные материалы на их основе : Дис. ... канд. техн. наук : 05.17.06 Москва, 2006 139 с. РГБ ОД, 61:06-5/2565

На правах рукописи

ПЕРВОВ НИКОЛАЙ ВАЛЕРИЕВИЧ

ПОЛИЭТИЛЕНТЕРЕФТАЛАТНЫЕ ТРЕКОВЫЕ МЕМБРАНЫ С ЗАДАННОЙ ФОРМОЙ ПОР И МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ ШАБЛОННЫЕ

МАТЕРИАЛЫ НА ИХ ОСНОВЕ

Специальность: 05.17.06 - Технология и переработка полимеров

и композитов

диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук

МОСКВА 2006

**Содержание**

1. [Введение 5](#bookmark2)
2. [Обзор литературы 6](#bookmark3)
   1. Синтез и физико-химические свойства наноструктурных

материалов 6

* + 1. Состояние проблемы 6
    2. Применение наноструктурных материалов 8
    3. Технология консолидированных наноструктурных материалов 9
  1. Технология полимерных пористых, трубчатых

и биологических наноматериалов 12

* 1. [Шаблонный синтез наноструктурных материалов 15](#bookmark6)
     1. [Материалы, синтезируемые шаблонным методом 16](#bookmark5)
  2. Методы получения шаблонных материалов 19
     1. Электрохимическое осаждение металлов 19
     2. Химическое осаждение металлов 21
     3. Химическая полимеризация 22
     4. Золь-гель осаждение 22
  3. Материалы, используемые в шаблонном синтезе 22
     1. Мембраны из оксида алюминия 22
     2. Другие нанопористые материалы 23
     3. Трековые мембраны 23
  4. Шаблонный синтез никелевых микро- и наноструктурных

материалов 35

* + 1. [Электрохимическое осаждение никеля 37](#bookmark7)
    2. [Химическое осаждение металлов в шаблонном синтезе 38](#bookmark8)

1. [Материалы и методы исследований 40](#bookmark9)
   1. Полиэтилентерфталатные пленки и трековые мембраны 40
   2. [Магнетронное напыление металлов 41](#bookmark10)
   3. Определение краевого угла смачивания поверхности

облученных полимерных пленок и трековых шаблонов 43

* 1. Методики исследования структуры поверхностей пор

полиэлилентерефталатных пленок и трековых мембран 44

* + 1. Электронная и атомно-силовая микроскопия 44
    2. Определение среднего диаметра пор трековых мембран 44
  1. Иследование электроповерхностных свойств

полиэтилентерефталатных трековых мембран-шаблонов 46

* 1. Составы растворов для получения металлических

шаблонных материалов 48

* + 1. Составы растворов для получения металлических шаблонных материалов электрохимическим

осаждением никеля 48

* + 1. Составы растворов для получения металлических шаблонных материалов химическим нанесением серебра 49
  1. Исследование электрохимических свойств

металлических шаблонных материалов методом

циклической вольтамперометрии 50

* 1. [Рентгеновская дифрактометрия 52](#bookmark12)
  2. [Гигантское комбинационное рассеяние 52](#bookmark13)

1. [Результаты и их обсуждение 53](#bookmark14)
   1. Оптимизация процесса получения

полиэтилентерефталатных трековых мембран с симметричной структурой пор 53

* 1. Получение асимметричных полиэтилентерефталатных

трековых мембран 67

* 1. Получение металлических шаблонных материалов

электрохимическим осаждением никеля 71

* + 1. Получение металлических шаблонных материалов

электрохимическим осаждением никеля на

симметричные трековые мембраны 71

* + 1. Получение металлических шаблонных материалов электрохимическим осаждением никеля

на асимметричные трековые мембраны 83

* 1. Получение металлических шаблонных материалов

химическим осаждением серебра 85

* + 1. Металлизация ПЭТФ-пленки химическим

осаждением серебра 86

* + 1. Получение шаблонных материалов химическим осаждением серебра на полимерные трековые мембраны 88
  1. Использование полиэтилентерефталатных трековых

мембран для синтеза ГКР-активных наноструктур 103

* + 1. Синтез ГКР-активных острийных наноструктур 104
  1. Физико-химические свойства полученных металлических

шаблонных материалов 105

* + 1. Электрохимическое поведение никелевых шаблонных материалов, полученных с использованием ПТШ 106

4.6.2.Электрохимическое поведение никелевых шаблонных

материалов, полученных с использованием ПАТШ 110

1. Химическое осаждение платины и палладия 112
2. Оценка никелевых шаблонных наноструктурных

материалов как электродов для выделения водорода 118

1. Чувствительность анализа с применением ГКР-активных поверхностей, полученных с использованием

шаблонного синтеза 120

1. [Основные выводы 122](#bookmark16)
2. Список цитируемой литературы 123
3. **Введение**

В настоящее время интенсивно развиваются области науки и техники, связанные с изготовлением наноструктурных материалов. Высокий интерес к данному направлению и его востребованность связаны с уникальными свойствами, которые проявляют вещества в нанометровом масштабе, и самое главное—с возможностью использования наноструктурных материалов в научных и прикладных задачах в различных областях химии, физики, биологии, микроэлектроники и др. Было установлено, что ультра-малые элементарные частицы материала обладают уникальными механическими, оптическими, магнитными и электронными свойствами по сравнению с материалом того же химического состава, но более крупнозернистой структурой [1-5]. Перспективным является применение материалов, составные элементы которых обладают микро- и наноразмерами, в таких областях как наномеханика, транспортировка лекарств в токе крови.

В последние годы интенсивно развивались технологии, позволяющие синтезировать, изменять, управлять и контролировать элементы нанометрового и даже атомарного размера. Для получения таких элементов были разработаны методы на основе оптической и электронно-лучевой литографии, имплантации и травления. Однако, все эти методы имеют общий недостаток - низкий уровень контроля над конечной формой получаемых наноразмерных частиц, тогда как некоторые специфические свойства проявляются именно при повышенной упорядоченности структуры [6-9].

Одним из наиболее перспективных и современных подходов к производству наноструктурных материалов является метод шаблонного синтеза. Данный метод основан на использовании пористых материалов, в частности - трековых мембран, в качестве матрицы. Интерес к шаблонным методам связан с их достаточной простотой, а также с возможностью изготовления наноразмерных элементов, размеры и форма которых могут легко контролироваться [10-15].

Использование метода шаблонного синтеза позволяет получать разнообразные микро- и наноразмерные элементы желаемой морфологии и, следовательно, позволяет повысить упорядоченность получаемых на их основе наноструктурных материалов. Основным преимуществом данного метода является возможность получения наноразмерных элементов практически любого вида - в частности наноразмерных волокон, трубок из множества материалов: проводящих полимеров [10, 16-19], металлов [20-24], полупроводников [25, 26], углерода [27] и др.

1. **Основные выводы**
2. Предложен метод сенсибилизации облученной высокоэнергетичными ионамиполиэтилентерефталатнойпленкипосредствомеепострадиационной термообработки, приводящий к двукратному увеличению скорости травления треков в процессе получения симметричных трековых мембран.
3. Разработан метод и технологические режимы получения асимметричных трековых мембран; метод основан на одностороннем травлении в щелочных водно-спиртовых растворах полиэтилентерефталатных пленок, облученных высокоэнергетичными ионами аргона.
4. Предложена схема и разработаны режимы синтеза электрохимическим осаждением никеля металлических микро- и наноструктурных материалов с использованием полиэтилентерефталатных трековых мембран с заданной формой пор в качестве шаблонов; показано, что последующее удаление полимерной матрицы-шаблона позволяет получить массив металлических микро- и наноразмерных проволок, консолидированных на подложке.
5. Разработаны режимы синтеза химическим осаждением серебра металлических микро- и наноструктурных материалов с использованием полиэтилентерефталатных трековых мембран-шаблонов; показано, что данный метод позволяет получать в поровом пространстве мембраны металлические микро- и наноразмерные трубки.
6. Оценена эффективность применения полученных никелевых шаблонных микро- и наноструктурных материалов в качестве электродов в электролитическом синтезе водорода (показано двукратное увеличение эффективности проведения процесса электролиза по сравнению с традиционными никелевыми электродами), а также в ГКР-анализе биомакромолекул с чувствительностью не более 1 пг.
7. Список литературы
8. Р.А. Андриевский. Наноматериалы: концепция и современные проблемы. // Российский химический журнал. 2002. Т. 46, № 5, с.50.
9. Н. Gleiter. Nanostructured materials: basic concepts and microstructure. // Acta Materialia. 2000. V. 48, № 16 p. 1.
10. A. JI. Бучаченко. Нанохимия - прямой путь к нвысоким технологиям. // Успехи химии. 2003. Т. 72, № 5, с. 419.
11. Ю.И. Головин. Введение в нанотехнологию. - М.: Машиностроение- 1,2003-112 с.
12. М. Роко, Р.С. Вильямс, П. Аливесатос. Нанотехнология в ближайшем десятилетии. Прогноз направлений исследований. - М.: Мир,
13. - 292 с. /пер. с англ. под ред. Р.А.Андриевского.
14. A. Fert, L. Piraux. Magnetic nanowires. // J. Magnetism and Magnetic Materials. 1999, V. 200, p. 338.
15. R. Garcia. Atomic-scale manipulation in air with the scanning tunneling microscope. //Applied Physics Letters. 1992, v.60, p. 1960.
16. I. Lyons, P.Avouris. Field-induced nanometer- to atomic-scale manipulation of silicon surfaces with the STM. // Science. 1991, v.253, p.173.
17. M.F. Crommie, C.P. Lutz. Confinement of electrons to quantum corrals on a metal surface. // Science. 1993, v.262, p.218.
18. J.C. Hulteen, C.R. Martin. A general template-based method for the preparation of nanomaterials. // J. Mater. Chem. 1997, V. 7, p. 1075.
19. S.K. Chakarvarti, J. Vetter. Template Synthesis - a membrane based technology for generation of nano-/micro materials: a review. // Radiation Measurements, 1998, V.29, p. 149-159.
20. L. Piraux, S. Dubous, S. Demoustier-Champagne. Template synthesis of nanoscale materials using the membrane porosity. // Nuclear Instr. Meth. Phys. Res.1997, V. В 131, p.357.

. *л* ' '

1. D. Fink, A.V. Petrov, V. Rao et al. Production parameters for the formation of metallic nanotubules in etched tracks. // Rad. Meas. 2003, v. 36, p. 751.
2. J. Vetter, R. Spohr. Application of ion track membranes for preparation of metallic nanostructures. // Nuclear Instr. Meth. Phys. Res. 1993, V. В 79, p.691.
3. L.D.-De Pra, E. Ferain, R. Legras et al. Fabrication of a new generation of track etched templates and their use for the synthesis of metallic and organic nanostructures. // Nuclear Instr. Meth. Phys. Res.2002, V. В 196, p.81.
4. G. Hodes, I.D.J. Howell, L.M. Peter. Nanociystalline photochemical cells: a new concept of photovoltaic cells. // Journal of the Electrochemical Society. 1992, v. 139, p.3136.
5. R. Partharathy, C.R. Martin. Synthesis of polymeric microcapsule arrays and their use for enzyme immobilization. //Nature. 1994, v.369, p.298.
6. C.R. Martin, R.V. Parthasarathy, V. Menon. Template synthesis of electronically conductive polymers - a new route for achieving higher electronic conductivities. // Synthetic Metals. 1993, v.55, p. 1165.
7. C.R. Martin. Template synthesis of polymeric and metal microtubules. //Advanced Materials. 1991, v.3, p.457.
8. M.E. Toimi Morales et al..// Etched heavy ion tracks in polycarbonate as template for copper nanowires.//Nucl. Instr. Meth.,В 185 ,2001, p.192-197.
9. T. Gao et al.// Electrochemical synthesis of copper nanowires // J. Phys.: Condens. Matter, 2002, V.14, p.355-363
10. V.P. Menon, C.R. Martin. Fabrication and evaluation of nanoelectrode ensembles. //Analytical Chemistry. 1995, v.67, p. 1920.
11. S. Kumar, S.K. Chakarvarti. Large scale copper microstructures generation using electro-deposition through nuclear track filters. // Journal of Materials Science Letters. 2003, v.22, p.323.
12. S. Kumar, S.K. Chakarvarti. Electrochemical synthesis of copper

nanotubules in etched ion tracks in polycarbonate. // Journal of Materials Science. 2004, v.39, p.3257. .

1. J.D. Klein, R.D.I. Herrick, D. Palmer, M.J. Sailor et al. Electrochemical

fabrication of cadmium halcogenide microdiode arrays. // Chemistry of Materials. 1993, v.5, p.902.

1. R.K. Kavin, D.J.C. Herr, V.V. Zhirnov. Semiconductor research needs in the nanoscale physical sciences: a Semiconductor Research Corporation working paper. // J. Nanoparticle Research. 2000, v. 2, p. 213.
2. S. Fan, W. Liang, H. Dang et al. Carbon nanotube arrays on silicon substrates and their possible application. // Low-dimensional Systems and Nanostructures. 2000, v.8, p. 179.
3. RA. Андриевский, A.B. Рагуля. Наноструктурные материалы. - М.: Издательский центр «Академия», 2005. - 192 с.
4. G.B. Khomutov, V.V. Kislov, M.N. Antipina et al. Interfacial nanofabrication strategies in development of new functional nanomaterials and planar supramolecular nanostructures for nanoelectronics and nanotechnology. // Microelectronic Engineering. 2003, v.69, p. 373.
5. P.А. Андриевский, A.M. Глезер. Размерные эффекты в

нанокристаллических материалах. I. Особенности структуры. Термодинамика. Фазовые равновесия. Кинетические явления. // ФФМ. 1999, т. 88, с. 50.

1. Р.А. Андриевский, А.М. Глезер. Размерные эффекты в

нанокристаллических материалах. И. Механические и физические свойства. // Там же, 2000, т. 89, с. 91.

1. Н.Ф. Уваров, В.В. Болдырев. Размерные эффекты в химии гетерогенных систем. // Успехи химии. 2001, т.70, с. 307.
2. A.S. Edelstein, R.C. Cammarata. Nanomaterials. Synthesis, properties and applications. - Bristol: Institute of Physics Publishing, 1998. - 596 p.
3. C.R. Martin. Nanomaterials: a membrane based scientific approach. // Science. 1994, v. 266, p. 1961.
4. А.И. Гусев, А.А.Ремпель. Нанокристаллические материалы. - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2000. - 224 с.
5. М.В. Астахов. Физико-химические свойства индивидуальных частиц и ансамблей.// Известия вузов. Материалы электронной техники.
6. № 2, с. 15.
7. Ю.А. Котов. Нанопорошки, получаемые с использованием методов импульсного нагрева мишеней. // Перспективные материалы. 2003, № 4, с. 79.
8. K.S. Suslick, G.J. Price. Application of ultrasound to materials chemistry. //Annual Review Materials Science. 1999, v. 29, p.295.
9. P.3. Валиев, И.В. Александров. Наноструктурные материалы, полученные интенсивной пластической деформацией. - М.: Логос, 2000. -272 с.
10. A.M. Glezer. Melt quenched nanocrystals. //Nanostructured materials: science and technology./Eds. G.-M.Chow, N.I.Noskova. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers. 1998.-p. 163.
11. B.B. Скороход, И.В. Уварова, A.B. Рагуля. Фізіко-хімічна кінетика в наноструктурных системах. — Киів: Академперіодика, 2001. — 180 с.
12. S. Seal, S.C. Kuiry, P. Georgieva et al. Manufacturing nanocomposite parts: present status and future challinge. //Materials Research Society Bulletin. 2004, v. 29, № 1, p. 16.
13. P.А. Андриевский. Синтез и свойства пленок фаз внедрения. // Успехи химии. 1997, т. 66, № 1, с. 57.
14. Ж.-М. Лен. Супрамолекулярная химия: концепции и перспективы. /Пер. с ант. под ред. В.В.Власова, А.А.Вернека. — Новосибирск: Наука, 1988.-334 с.
15. В.Ф. Реутов, С.Н. Дмитриев. Ионно-трековая нанотехнология. // Российский химический журнал. 2002, т. 46, № 5, с. 74.
16. J.S. Beck, J.C. Vartuli, W.J. Roth et al. A new family of mesoporous molecular sieves prepared with liquid crystal templates. // Journal of American Chemical Society. 1992, v. 114, № 276 p. 10834.
17. В.Я. Принц. Трехмерные самоформирующиеся наноструктуры на основе свободных напряженных гетеропленок. // Известия вузов. Физика.
18. т. 46, № 4, с. 35.
19. B.P. Tarasov, V.E. Muradyan, Y.M. Shulga et al. Synthesis of carbon nanostructures by arc evaporation of graphite rods with Co-Ni and YNi3 catalyst. //Carbon. 2003, v. 41, p. 1357.
20. S. Park, S. Jayaraman. Smart textile: wearable electronic systems. // Materials Research Society Bulletin. 2003, v. 28, № 8, p. 585.
21. N. Seeman. DNA nanotechnology. // Materials today. 2003, № 1, p. 24.
22. M. Wang. Developing bioactive composite materials for tissue replacement. // Biomaterials. 2003, v. 24, p. 2133.
23. C.-G. Wu, T. Bein. Conducting polyaniline filaments in a mesoporous channel host. // Science. 1994, v.264, p.1757.
24. C.A. Foss, G.L. Homyak, J.A. Stockert, C.R. Martin. Template- synthesized nanoscopic gold particles: optical spectra and the effects of particle size and shape. // Journal of Physical Chemistry. 1994, v.98, p.2963.
25. S.K. Chakarvarti, J. Vetter. Morphology of etched pores and microstructures fabricated from nuclear track filters. // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research. 1991. B62, p. 109.
26. C.J. Brumlik, C.R- Martin, K. Tokuda. Microhole array electrodes based on microporous alumina membranes. // Analytical Chemistry. 1992, v.64, p. 1201.
27. R.J. Tonucci, B.L. Justus. Nanochannel array glass. // Science. 1992, v.258, p.783.
28. C. Hulteen, H.X. Chen, C.K. Chambliss, C.R. Martin. Template synthesis of carbon nanotubule and nanofiber arrays. // Nanostructured Materials. 1997, v.9, p. 133.
29. D. Dobrev, J. Vetter, R. Neumann. Growth of potassium iodide single­crystals using ion track membranes as templates. // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research. 1998, В146, p.513.
30. B.B. Lakshmi, C.J. Patrissi, C.R. Martin. Sol-gel template synthesis of semiconductor oxide micro- and nanostructures. // Chemistry of Materials. 1997, v.9, p.2544.
31. T.W. Ebbesen, P.M. Ajayan. Large-scale synthesis of carbon nanotubes. // Nature. 1992, v.358, p.220.
32. H. Lange, A. Huczko, P. Byszewski et al. Influence of boron on carbon arc plasma and formation of fullerenes and nanotubes. // Chemical Physics Letters. 1998, v.289, p. 174.
33. J.D.Klein, R.D.I.Herrick, D.Palmer, M.J.Sailor et al. Electrochemical fabrication of cadmium halcogenide microdiode arrays. // Chemistry of Materials. 1993, v.5, p.902.
34. V.Ivanov, J.B.Nagy, Ph.Lambin et al. The study of carbon nanotubules produced by catalytic method. // Chemical Physics Letters. 1994, v.223, p.329.
35. C.A.Foss, G.L.Homyak, J.A.Stockert, C.R.Martin. Optical properties of composite membranes containing arrays of nanoscopic gold cylinders. // Journal of Physical Chemistry. 1992, v.96, p.7497
36. M.Nishizawa, K.Mukai, S.Kuwabata, C.R.Martin, H.Yoneyama.

Template synthesis of polypyrrole coated spinel LiMn204 nanotubules and their properties as cathode active materials for lithium batteries. // Journal of the Electrochemical Society. 1997, v.144, p.1923.

1. G.L.Homyak, C.R.Martin. Fabrication, characterization of gold nanoparticle/porous alumina composites: the nonscattering Maxwell-Gamett limit. // Journal of Physical Chemistry. 1997, v.101, p.1548.
2. M.Nishizawa, K.Mukai, S.Kuwabata, C.R.Martin, H.Yoneyama.

Template synthesis of polypyrrole coated spinel LiMn204 nanotubules and their properties as cathode active materials for lithium batteries. // Journal of the Electrochemical Society. 1997, v.144, p. 1923.

1. Z.Cai, J.Lei, W.Liang, V.Menon, C.R.Martin. Molecular and

supermolecular origin of enhanced electronic conductivity in template- synthesized polyheterocyclic fibrils. I. Supermolecular effects. // Chemistry of Materials. 1991, v.3, p.960.

1. S.DeVito, C.R.Martin. Toward colloidal dispersions of template-synthesized polypyrrole nanotubules. // Chemistry of Materials. 1998, v.10, p.1738.
2. M.J.Temey, C.R.Martin. Transparent metal microstructures. // Journal of Physical Chemistry. 1989, v.93, p.2878.
3. W.Kautek, S.Reetz, S.Pentzien. Template electrodeposition of nanowire arrays on gold foils fabricated by pulsed-laser deposition. // Electrochimica Acta. 1995, v.40,p.l461.
4. D.Al-Mawlawi, N.Coombs, M.Moskovits. Magnetic properties of Fe deposited into anodic aluminium oxide pores as a function of particle size. // Journal of Applied Physics. 1997, v.70, p.4421.
5. Г.Н.Флеров. Синтез сверхтяжелых элементов и применение методов ядерной физики в смежных областях. // Вестник АН СССР, 1984, №4, С. 35-48.
6. П.Ю.Апель. Температурные эффекты (влияние температуры травления и отжига после облучения) при регистрации тяжелых заряженных частиц в полипропилене. // Приборы и техника эксперимента. 1994, № 6, С. 80-84
7. П.Ю.Апель. Регрессия треков в полиэтилентерефталате после сенсибилизации различными методами. // Приборы и техника эксперимента. 1992. №5, С. 71-75.
8. B.I.Fursov Anikin G.V., Bolshov V.I. et al. Structural and Selective Properties of Track Membranes “REATRECK-IPPE”. Annual report 1998. The Ministry of the Russian Federation for Atomic Energy, The State Scientific Center of Russian Federation, Institute for Physics and Power Engineering, named after Acad. A.I. Leipunsky, Nuclear Physics Department. Annual report 1998., p. 100
9. Г.Н.Флеров, П.Ю.Апель, А.Ю.Дидык, В.И.Кузнецов, Р.Ц.Оганесян. Использование ускорительной техники для изготовления ядерных мембран. // Атомная энергия. 1989. Т. 67, С. 274-280.
10. П.Ю.Апель. Радиационно-химическая модификация полиэтиленте- рефталатных пленок при облучении ускоренными тяжелыми ионами и разработка ядерных ультрафильтрационных мембран. Диссертация на соискание ученой степени кандидата химических наук, Дубна, 1985.
11. P.Yu.Apel, V.V. Ovchinnikov. Capillary contraction of small pores and

latent track parameter measurements in polymers // Radiat. Eff. And Defects

in Solids. 1993. V. 126, P. 217-220.

1. Р.ЛФлейшер, П.В.Прайс, Р.М.Уокер. Треки заряженных частиц в твердых телах. М.: Энергоиздат 1981, Т.2, С. 115-145.
2. А.с. СССР 1582601. Способ изготовления ядерной мембраны. Авт. Изобр. П.Ю. Апель, А.Ю. Дидык, В.И. Кузнецов. Приор. 10.05.88.
3. V.I.Kuznetsov, A.Yu.Didyk, P.Yu.Apel. Production and investigation of nuclear track membranes in JINR // Nucl. Tracks Radiat. Meas. 1991. V. 19, №1-4. P.919-924
4. F. Petersen, W. Enge Energy loss dependent transversal etching rates of

heavy ion tracks in plastic// Radiat. Meas. 1995. V.25. P.43-46

1. Энциклопедия полимеров. М.: Советская энциклопедия, 1977, Т. 2,3.
2. В.В.Березкин, А.Н.Нечаев, С.В.Фомичев, Б.В.Мчедлишвили, Н.И.Житарюк. Ядерные фильтры с ионоселективными свойствами. // Коллоид, журн, 1991, Т. 53, №2, С. 339-342.
3. Г.Ли, Д.Стоффи, К.Невилл. Новые линейные полимеры. М.: Химия, 1972.
4. А.И.Виленский,Р.В.Гайнутдинов,О.Г. Ларионов,Б.В.Мчедлишвили. УФ сенсибилизация латентных треков в полиэтилентерефталате //
5. G.N.Flerov, P.Yu.Apel, V.I.Kuznetsov, L.I.Samoilova, V.D.Shestakov, V.V.Shirkova, N.I.Shtanko, T.I.Soboleva, E.D.Vorobiev, N.I.Zhitariuk. Novel types of nuclear track membranes. Prepr. .TINR El 8-89-723, Dubna, 1989.
6. Nuclepore Membranes and Hardware for Laboratory. Catalog Lab 20. Nuclepore Corp. Commerce Circle. Pleasanton. С A. 1989.
7. Е.Е.Никольский, А.И.Виленский, C.B.Власов. Изменения в поликарбонатной пленке при формировании трековых мембран. Тезисы докладов Российской конференции по мембранам и мембранным технологиям «Мембраны 95» 3-6 октября 1995, С. 9.
8. П.Ю.Апель. Треки ускоренных тяжелых ионов в полимерах. Диссертационная работа на соискание ученой степени доктора химических наук. Москва. 1998. С. 162
9. П.Ю. Апель, В.В.Березкин, А.Б.Васильев, А.И. Виленский, В.И.Кузнецов, Б.В.Мчедлишвили, О.П.Орелович, Д.Л.Загорский. Структурно-селективные свойства ядерных фильтров на основе полипропилена. // Коллоид, журн, 1992, Т. 54, №64, С. 220-223.
10. М.И.Бессонов. Полиимидыновый класс термостойких полимеров. Л.: Наука, 1983.
11. А.И.Виленский, В.А.Олейников, Н.Г.Маков, Б.В.Мчедлишвили,

Э.П.Донцова. Полиимидные трековые мембраны для ультра- и микрофильтрации. // Высокомолек. Соед., 1994, том 36, №3, С. 475-485.

1. Н.Исикава, Е.Кобаяси. Фтор. Химия и применение. М.: Мир, 1982, С.126
2. В.В.Ширкова. Физико-химические основы технологии получения трековых мембран из поливинилиденфторида и его сополимеров. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Москва. 1995.
3. В.В.Ширкова, С.П.Третьякова. Новый материал для трековых мембран и детекторов на основе сополимера тетрафторэтилена с этиленом. Мембраны-98 С. 137
4. А.Н.Нечаев, В.В.Березкин, А.И.Виленский, Г.С.Жданов, Л.Г.Карпухина, М.Ф.Кудояров, А.М.Митерев, Н.В .Митрофанова, В.А.Пронин, Т.В.Цыганова, Б.В.Мчедлишвили. Асимметричные трековые мембраны.// Мембраны. 2000. N6.
5. П.Ю.Апель, В.М.Коликов, В.И.Кузнецов, Б.В.Мчедлишвили, Н.И.Потокин, Л.И.Самойлова. Пористая структура, селективность и производительность ядерных фильтров с ультратонким селективным слоем — Коллоидн. журн., 1985, т. 47, № 4, с.772-776.
6. А.Н.Черкасов, А.Н.Нечаев. Метод калибровки в анализе структурно­селективных свойств трековых ультрафильтров.// Мембраны 2001 С.9.
7. V.P. Nazmov, V.F. Pindyurin, S.I. Mishnev, E.N. Yakovleva. Influence of irradiation of poly-(ethylene terephthalate) films with X-rays upon the rate of dissolution in alkali water solution// Nucl. Instr. And Meth. В 173 (2001) 311-318.
8. В.М.Кочкодан, М.Т.Брык. Привитая полимеризация акриловой кислоты на поверхности полиэтилентерефталатных ядерных фильтров. // Доклады АН. УССР, Сер. Б, 1986, №8, С. 29-31.
9. В.Я. Кабанов. Получение полимерных биоматериалов с использованием радиационно-химических методов. // Успехи химии 1998. №67 Т.9, 861-895
10. T.D.Khohlova, A.V.Sergeev, N.V.Mitrofanova, A.N.Netchaev, Yu.E.Kirsh, B.V.Mchedlishvili. The investigations of protein adsorption on polyethylene terephthalate track membranes. 14th international congress of chemical and process engineering. CHISA-2000. Praha. Czech republic. Summaries 2, p. 290
11. В.М.Кочкодан,М.Т.Брык,Б.В.Мчедлишвили,Н.И.Житарюк.Привитая полимеризация стирола на поверхности полиэтилентерефталатных ядерных фильтров. // Укр. хим. журн. 1987, Т.53 №1, С.29-31
12. В.М.Кочкодан, М.Т.Брык. Привитая полимеризация акриловой кислоты на поверхности полиэтилентрефталатных ядерных фильтров. // Докл. АН УССР. Серия Б, 1986, №8, С. 29-31.
13. JI.K. Шатаева,И.Ю. Ряднова,А.Н. Нечаев, А.В. Сергеев,И.П. Чихачева, Б.В. Мчедлишвили. Особенности смачивания и адсорбционных свойств трековых мембран на основе полиэтилентерефталата. Коллоидный журнал. 2000, том 62, №1, с. 126-132.
14. N. Mitrofanova, A. Sergeev, Т. Khohlova, Е. Khataibe, A.Vasil’ev The ТМ modification for plazmapherezis. June 3-6, 2001 Granada, Spain// Proceedings of Engineering with membranes, V.l, p.450.
15. А.В.Сергеев, Н.В.Митрофанова, Т.Д.Хохлова, А.Н.Нечаев,

Н.АЛнуль, Ю.М.Попков Модификация трековых мембран поли-N- виниламидами/ЛГезисы докладов Всероссийской научной конференции Мембраны-2001, 2 5 октября 2001 г., с.70.

1. А.И.Виленский, В.В.Березкин, Б.В.Мчедлишвили. Модификация ядерных мембран в плазме тлеющего разряда. // Коллоид, журн., 1991, Т. 53, С. 117-120.
2. F. Shue, G. Clarotti, J. Sledz, A. Mas, K.E. Geckeler, W. Gopel, A. Orsetti Possibilities offered by plasma modification and polymerization to enhance the bio- and hemocompatibility of polyester membranes. // Makromol. Chem. 1993, V.73, 217-236
3. Л.И. Кравец, C.H. Дмитриев, B.B. Слепцов, B.M. Элинсон, B.B. Потрясай, О.Л. Орелович. Воздействие высокочастотного плазменного разряда на полиэтилентерефталатные пленки, облученные тяжелыми ионами. // Химия высоких энергий. 2000. Т. 34, №2, С. 158-163.
4. Г.Ф. Ивановский, В.И. Петров. Ионно-плазменная обработка материалов. М.: Радио и связь. 1986, 154-158.
5. J. Wolff. Tailoring of ultrafiltration membranes by plasma treatment and their application for the desalination and concentration of water-soluble organic substances. // J. Membrane Sci. 1988. 36. 207
6. C.H.Дмитриев, Л.И.Кравец, В.В.Слепцов, Н.В.Симакова, О.Л.Орелович. Модификация структуры трековых мембран с помощью метода газоразрядного травления. // Химия высоких энергий. 1997, Т. 31, №4, С. 286-290
7. S.N.Dmitriev, L.I.Kravets, V.V.Sleptsov, V.M.Elinson. Plasma modification of poly(ethylene)terephthalate track membranes structure and surface in the plasma of non-polymerizing gases. // Proc. of the 7th Intern. Conference on Radiation Curing «RadTech Asia’99», 24-26 August 1999, Kuala Lumpur, Malaysia
8. A.V.Sergeev, A.N.Netchaev, V.M.Shkinev, V.A.Pronin, P.A.Loboda, F.Shue, A.Mas, I.P.Chihacheva, V.P.Zubov, E.V.Khataibe, V.B.Sokolov. The methods of track membranes hydrophobic-hydrophilic balance changing. Euromembrane 2000. Program and abstracts, p. 285.
9. В.А.Пронин,П.А.Лобода,А.В. Сергеев,A.H. Нечаев.Использование методов ионно-плазменной обработки и ионного осаждения для изменения гидрофильно-гидрофобного баланса поверхности трековых мембран./ТНаука Кубани. Спецвыпуск, 2000, 5 (4.1 ), С.64-65
10. J.Marchand-Brynaert, M.Deldime, I.Dupont, J.-L.Dewez,Y.-J.Schneider. Surface functionalization of pPoly(ethylene terephthalate) film and membrane by controlled wet chemistry: chemical characterization of carboxylated surfaces. // Journal of Colloid and Interface Science. 1995, v.173, p.236.
11. S.K.Chakarvarti, J.Vetter Microfabrication of metal-semiconductor heterostructures and tubules using nuclear track filters. // Journal of Micromechanics and Microengineering. 1993, v.3, p.57.
12. Я. Рабек. Экспериментальные методы в химии полимеров. М.: Мир, Т. 2, С. 225.
13. М. Мулдер. Введение в мембранную технологию: Пер. с англ. - М.: Мир, 1999. - 513 с.
14. О.Н. Григоров. Электрокинетические явления. Изд. ЛГУ, 1973.
15. P.Yu.Apel. Heavy particle tracks in polymers and polymeric track membranes. // Radiat. Meas. 1995, v. 25, p. 667.
16. C.Trautmann. Observation and chemical treatment of heavy ion tracks in polymers. // Nucl. Instr. and Meth. in Phys. Res. 1995, В105, p. 85.
17. R.Spohr. Ion track technology — a persisting challenge. // New Astronomy Reviews. 1998, v. 42, p. 189.
18. E.Ferain, R.Legra. Pore shape control in nanoporous particle track etched membrane. //Nucl. Instr. and Meth. in Phys. Res. 2001, В174, p. 116.
19. S.Kumar. Sh.Kumar, S.K.Chakarvarti. On the preparation and asymmetric electric transport behavior of conical channels in polyethylene terephtalate. ***I I*** Radiat. Meas. 2003, v. 36, p. ***1.***
20. Z.Siwy, RApel, D.Dobrev et al. Ion transport through asymmetric nanopores prepared by ion track etching. // Nucl. Instr. and Meth. in Phys. Res. 2003, B208, p. 143.
21. Н.Ф.Мелащенко. Гальванические покрытия диэлектриков. Минск: Беларусь, 1987.
22. М.И.Шалкаускас. Металлизация пластмасс. М.: Знание, 1983.
23. P.Yu.Apel, I.V.Blonskaya, A.Yu.Didyk et al. Surfactant-enhanced control of track-etch pore morphology. // Nucl. Instr. and Meth. in Phys. Res. 2001, В 179, p. 55.
24. J.Duchet, S.Demoustier-Champagne. Study of polystyrene microstructures and nanostructures synthesized in particle track-etched membranes used as templates. // Polymer. 2000, v. 41, p. 1.
25. В.А.Олейников, Н.В.Первов, Б.В.Мчедлишвили. Трековые мембраны темплейтном синтезе ГКР-активных наноструктур. // Мембраны. 2004, № 4, с. 17.
26. О.А.Акципетров. Гигантские нелинейно-оптические явления на поверхности металлов. // Соросовский образовательный журнал. 2001, т. 7, № 7, с. 109.
27. M.F.Kibria, M.Sh.Mridha. Electrochemical studies of the nickel electrode for the oxygen evolution reaction. // International Journal of Hydrogen Energy. 1996, v.21, p. 179.
28. D.Lj.Stojic, B.D.Cekic, A.D.Maksic, M.P.M.Kaninski, S.S.Miljanic. Intermetallics as cathode materials in the electrolytic hydrogen production. // International Journal of Hydrogen Energy. 2005, v.30, p.21.
29. D.D.MacDonald, B.G.Pound, S.J.Lenhart. The application of electrochemical impedance spectroscopy for characterizing the degradation of Ni(OH)2/NiOOH electrodes. //Journal of Power Sources. 1990, v.29, p.477.
30. D.M.Constantin, E.M.Rus, L.Oniciu, L.Ghergari. The influence of some additives on the electrochemical behaviour of sintered nickel electrodes in alkaline electrolyte. ***I I***J. of Power Sources. 1998, v. 74, p. 188.
31. K.Watanabe, N.Kumagai. Electrochemical and electrodynamic studies of nickel electrodes in alkaline electrolytes. // J. of Power Sources. 1997, v.

66, p. 121.

1. M.Grden, A.Czerwinski, J.Golimowski et al. Hydrogen electrosorption in Ni-Pd alloys. // J. of Electroanalytical Chemistry. 1999, v. 460, p. 37.
2. M.S.El-deab, T.Ohsaka. Electrocatalysis by nanoparticles: oxygen reduction on gold nanoparticles-electrodeposited platinum electrodes. // J. of Electroanalytical Chemistry. 2003, v. 553, p. 107.
3. J.-N.Han, J.-W.Lee, M. Seo et al. Analysis of stresses generated during hydrogen transport through a Pd foil electrode under potential sweep conditions. // J. of Electroanalytical Chemistry. 2001, v. 506, p. 1.
4. I.J.Brown, S.Sotiropoulos. Preparation and characterization of microporous Ni coatings as hydrogen evolving cathodes. // J. of Appl. Electrochemistry. 2000, v. 30, p. 107.
5. C.-C.Hu, Y.-R.Wu. Bipolar performance of the electroplated iron-nickel deposits for water electrolysis. // Materials Chemistry and Physics. 2003, v.82, p.588.
6. Загорский Д.Л., Виленский А.И., Жданов Г.С., Косарев С.A., Первов Н.В., Мчедлишвили Б.В. Исследование методом ACM треков в полимерных пленках. // Труды 12 международнодного совещания «Радиационная физика твердого тела». Севастополь 2002, с. 225-228.
7. Нечаев А.Н., Апель П.Ю., Черкасов А.Н., Полоцкий А.Н., Первов Н.В., Трофимов Д. А., Сергеев А.В., Мчедлишвили Б.В. Высокопроизводительные трековые ультрафильтрационные мембраны. // Мембраны, 2003, № 4, с. 18-22.
8. Сергеев А.В., Первов Н.В., Нечаев А.Н., Мчедлишвили Б.В. Модифицированные трековые наношаблоны. // XV Международная конференция по электростатическим ускрителям и пучковым технологиям,
9. Тезисы докладов, с. 3.
10. Нечаев А.Н., Березкин В.В., Жданов Г.С., Карпухина Л.Г., Митерев А.М., Сергеев А.В., Хатайбе Е.В., Первов Н.В., Пронин В. А., Цыганова Т.В., Мае А., Шуе Ф., Мчедлишвили Б.В. Модифицированные трековые мембраны. I. Трековые мембраны с модифицированной геометрией пор. // Сборник «Трековые мембраны: синтез, структура, свойства и применения». М.: ИК РАН, 2004, с. 42-57.
11. Олейников В. А., Первов Н.В., Мчедлишвили Б.В. Трековые мембраны в темплейтном синтезе ГКР-активных наноструктур. // Мембраны, 2004, № 4, с. 17-27.
12. Первов Н.В., Апель П.Ю. Асимметричные трековые шаблоны. // Всероссийская научная конференция «Мембраны — 2004». Тезисы докладов, с. 177.
13. Первов Н.В., Сергеев А.В., Власов С.В. Химическое модифицирование трековых шаблонов нанесением слоев металлов. // Там же, с. 178.
14. Нечаев А.Н., Пронин В.А., Горнов В.Н., Сергеев А.В., Первов Н.В. Нанесение металлов на трековые шаблоны магнетронным напылением. //Там же, с. 179.
15. Нечаев А.Н., Сергеев А.В.,Первов Н.В.,Власов С.В. Электрохимическое осаждение металлов на трековые шаблоны. // Там же, с. 180.
16. Polyakov N.B., Zagorski D.L., Pervov N.V., Volosnikov A.A., Belan V.V., Mchedlishvili B.V., Oleinikov V.A. The study of the decomposition/ionization from the surfaces prepared by the track membrane technique. // Proceedings of the Sixth International Symposium on Swift Heavy Ions in Matter (SHIM)- 2005, Aschaffenburg, Germany, 2005, May 28-31.Abstracts, I 9, P. 188.
17. Vilensky A.I., Zagorski D.L., Apel P.Yu., Pervov N.V., Mchedlishvili B.V., Popok V.N., Melnik N.N. Thermal regression of latent tracks in the polymer irradiated by high energy heavy ions. //Nuclear Instruments and Methods in Physics Research. V.218(B). P.294-299.