

ISSN 1991-346X

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ
ҰЛТТЫҚ ҒЫЛЫМ АКАДЕМИЯСЫНЫҢ

Х А Б А Р Л А Р Ы

ИЗВЕСТИЯ

НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ НАУК
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

NEWS

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES
OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

**ФИЗИКА-МАТЕМАТИКА
СЕРИЯСЫ**



СЕРИЯ

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКАЯ



**PHYSICO-MATHEMATICAL
SERIES**

1 (299)

**ҚАҢТАР – АҚПАН 2015 ж.
ЯНВАРЬ – ФЕВРАЛЬ 2015 г.
JANUARY – FEBRUARY 2015**

1963 ЖЫЛДЫҢ ҚАҢТАР АЙЫНАН ШЫҒА БАСТАҒАН
ИЗДАЕТСЯ С ЯНВАРЯ 1963 ГОДА
PUBLISHED SINCE JANUARY 1963

ЖЫЛЫНА 6 РЕТ ШЫҒАДЫ
ВЫХОДИТ 6 РАЗ В ГОД
PUBLISHED 6 TIMES A YEAR

АЛМАТЫ, ҚР ҰҒА
АЛМАТЫ, НАН РК
ALMATY, NAS RK

Б а с р е д а к т о р

ҚР ҰҒА академигі,

Мұтанов Г. М.

Р е д а к ц и я а л қ а с ы:

физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА академигі **Әшімов А.А.**; техн. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА академигі **Байғұнчечков Ж.Ж.**; физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА академигі **Жұмаділдаев А.С.**; физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА академигі **Қалменов Т.Ш.**; физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА академигі **Мұқашев Б.Н.**; физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА академигі **Өтелбаев М.О.**; физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА академигі **Тәкібаев Н.Ж.**; физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА академигі **Харин С.Н.**; физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Әбішев М.Е.**; физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Жантаев Ж.Ш.**; физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Қалимолдаев М.Н.**; физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Косов В.Н.**; физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Мұсабаев Т.А.**; физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Ойнаров Р.**; физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Рамазанов Т.С.** (бас редактордың орынбасары); физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Темірбеков Н.М.**; физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Өмірбаев У.У.**

Р е д а к ц и я к ең е с і:

Украинаның ҰҒА академигі **И.Н. Вишневский** (Украина); Украинаның ҰҒА академигі **А.М. Ковалев** (Украина); Беларусь Республикасының ҰҒА академигі **А.А. Михалевич** (Беларусь); Әзірбайжан ҰҒА академигі **А. Пашаев** (Әзірбайжан); Молдова Республикасының ҰҒА академигі **И. Тигиняну** (Молдова); мед. ғ. докторы, проф. **Иозеф Банас** (Польша)

Главный редактор

академик НАН РК

Г. М. Мутанов

Редакционная коллегия:

доктор физ.-мат. наук, проф., академик НАН РК **А.А. Ашимов**; доктор техн. наук, проф., академик НАН РК **Ж.Ж. Байгунчеков**; доктор физ.-мат. наук, проф., академик НАН РК **А.С. Джумадильдаев**; доктор физ.-мат. наук, проф., академик НАН РК **Т.Ш. Кальменов**; доктор физ.-мат. наук, проф., академик НАН РК **Б.Н. Мукашев**; доктор физ.-мат. наук, проф., академик НАН РК **М.О. Отелбаев**; доктор физ.-мат. наук, проф., академик НАН РК **Н.Ж. Такибаев**; доктор физ.-мат. наук, проф., академик НАН РК **С.Н. Харин**; доктор физ.-мат. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **М.Е. Абишев**; доктор физ.-мат. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **Ж.Ш. Жантаев**; доктор физ.-мат. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **М.Н. Калимолдаев**; доктор физ.-мат. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **В.Н. Косов**; доктор физ.-мат. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **Т.А. Мусабаев**; доктор физ.-мат. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **Р. Ойнаров**; доктор физ.-мат. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **Т.С. Рамазанов** (заместитель главного редактора); доктор физ.-мат. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **Н.М. Темирбеков**; доктор физ.-мат. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **У.У. Умирбаев**

Редакционный совет:

академик НАН Украины **И.Н. Вишневский** (Украина); академик НАН Украины **А.М. Ковалев** (Украина); академик НАН Республики Беларусь **А.А. Михалевич** (Беларусь); академик НАН Азербайджанской Республики **А. Пашаев** (Азербайджан); академик НАН Республики Молдова **И. Тигиняну** (Молдова); д. мед. н., проф. **Иозеф Банас** (Польша)

«Известия НАН РК. Серия физико-математическая». ISSN 1991-346X

Собственник: РОО «Национальная академия наук Республики Казахстан» (г. Алматы)

Свидетельство о постановке на учет периодического печатного издания в Комитете информации и архивов Министерства культуры и информации Республики Казахстан №5543-Ж, выданное 01.06.2006 г.

Периодичность: 6 раз в год.

Тираж: 300 экземпляров.

Адрес редакции: 050010, г. Алматы, ул. Шевченко, 28, ком. 219, 220, тел.: 272-13-19, 272-13-18,

www.nauka-nanrk.kz / physics-mathematics.kz

© Национальная академия наук Республики Казахстан, 2015

Адрес типографии: ИП «Аруна», г. Алматы, ул. Муратбаева, 75.

Editor in chief

G. M. Mutanov,
academician of NAS RK

Editorial board:

A.A. Ashimov, dr. phys-math. sc., prof., academician of NAS RK; **Zh.Zh. Baigunchekov**, dr. eng. sc., prof., academician of NAS RK; **A.S. Dzhumadildayev**, dr. phys-math. sc., prof., academician of NAS RK; **T.S. Kalmenov**, dr. phys-math. sc., prof., academician of NAS RK; **B.N. Mukhashev**, dr. phys-math. sc., prof., academician of NAS RK; **M.O. Otelbayev**, dr. phys-math. sc., prof., academician of NAS RK; **N.Zh. Takibayev**, dr. phys-math. sc., prof., academician of NAS RK; **S.N. Kharin**, dr. phys-math. sc., prof., academician of NAS RK; **M.Ye. Abishev**, dr. phys-math. sc., prof., corr. member of NAS RK; **Zh.Sh. Zhantayev**, dr. phys-math. sc., prof., corr. member of NAS RK; **M.N. Kalimoldayev**, dr. phys-math. sc., prof., corr. member of NAS RK; **V.N. Kosov**, dr. phys-math. sc., prof., corr. member of NAS RK; **T.A. Mussabayev**, dr. phys-math. sc., prof., corr. member of NAS RK; **R. Oinarov**, dr. phys-math. sc., prof., corr. member of NAS RK; **T.S. Ramazanov**, dr. phys-math. sc., prof., corr. member of NAS RK (deputy editor); **N.M. Temirbekov**, dr. phys-math. sc., prof., corr. member of NAS RK; **U.U. Umirbayev**, dr. phys-math. sc., prof., corr. member of NAS RK

Editorial staff:

I.N. Vishnievski, NAS Ukraine academician (Ukraine); **A.M. Kovalev**, NAS Ukraine academician (Ukraine); **A.A. Mikhalevich**, NAS Belarus academician (Belarus); **A. Pashayev**, NAS Azerbaijan academician (Azerbaijan); **I. Tighineanu**, NAS Moldova academician (Moldova); **Joseph Banas**, prof. (Poland).

News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Physical-mathematical series.
ISSN 1991-346X

Owner: RPA "National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan" (Almaty)

The certificate of registration of a periodic printed publication in the Committee of information and archives of the Ministry of culture and information of the Republic of Kazakhstan N 5543-Ж, issued 01.06.2006

Periodicity: 6 times a year

Circulation: 300 copies

Editorial address: 28, Shevchenko str., of. 219, 220, Almaty, 050010, tel. 272-13-19, 272-13-18,

www.nauka-nanrk.kz / physics-mathematics.kz

© National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, 2015

Address of printing house: ST "Aruna", 75, Muratbayev str, Almaty

NEWS

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

PHYSICO-MATHEMATICAL SERIES

ISSN 1991-346X

Volume 1, Number 299 (2015), 53 – 55

**GAS SENSITIVE ELECTRICAL PROPERTIES
OF SILICON NANOWIRES****Z. Zh. Zhanabayev, E. Sagidolda, M. K. Ibraimov**

Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan

E-mail: Margulan_88@mail.ru

Key words: Silicon nanowires, metal-assisted chemical etching, frequency dispersion, organic gases.

Abstract. Samples of silicon nanowires obtained by metal-induced chemical etching, are examined. Microphotos are studied by scanning electron microscopy. Gas sensitive electrical properties of silicon nanowires are experimentally shown. It is found that in a few seconds sample reacts maximally to the organic gases. Frequency dispersion of the conductivity of silicon nanowires allows to determine the polar and nonpolar organic gases. Also silicon nanowires can be used as a humidity sensor.

УДК 539.23; 539.216.1

**ГАЗОЧУВСТВИТЕЛЬНЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА
НАНОНИТЕЙ КРЕМНИЯ****З. Ж. Жанабаев, Е. Сагидолда, М. К. Ибраимов**

Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан

Ключевые слова: нанонити кремния, металл-индуцированное химическое травление, частотная дисперсия, органические газы.

Аннотация. Исследованы образцы нанонитей кремния, полученные методом металл-индуцированного химического травления. Изучены микрофотографии с помощью сканирующей электронной микроскопии. Экспериментально показаны газочувствительные электрические свойства нанонитей кремния. Установлено, что за несколько секунд после подачи органического газа образец реагирует максимально. Частотная дисперсия проводимости нанонитей кремния позволяет определять полярные и неполярные органические газы. Также нанонити кремния могут использоваться в качестве датчика влажности.

Известно, что электрическое сопротивление наноструктурированного полупроводника меняется при адсорбции газов и сильно зависит от при поверхностной области используемого материала [1, 2]. От обычных электронных датчиков наноструктурированные сенсоры отличаются использованием в качестве чувствительных элементов наночастиц или веществ на их основе [3-6]. Целью данной работы является исследование сенсорных электрических свойств кремниевых нанонитей (КНН), полученные методом металл-индуцированного химического травления (МИХТ). В работе исследовалось влияние паров этанола, метанола, хлороформа, ацетонитрила и толуола на поверхность КНН.

Экспериментальные результаты. Обычно получают КНН, как и другие наноматериалы, двумя основными способами, которые включают в себя методы «сверху вниз» и «снизу вверх». Наиболее недорогостоящим и простым вариантом получения КНН является метод МИХТ (рисунок 1).

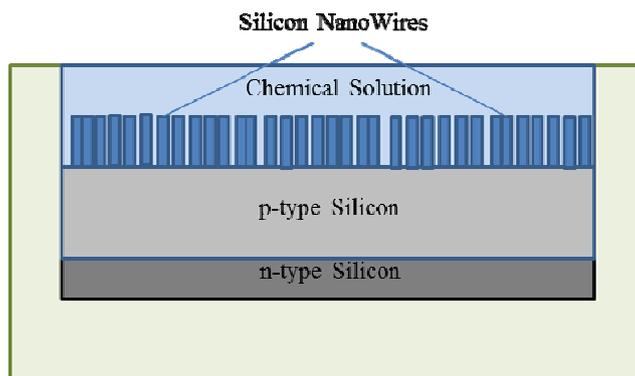


Рисунок 1 – Блок-схема получения кремниевых нанонитей методом металл-индуцированного химического травления

Данный метод состоит из 3 этапов, которые включают в себя нанесение катализатора (как правило, наночастицы серебра, никеля, платины, золота) на поверхность кристаллического кремния, рост КНН в растворе, содержащего плавиковую кислоту и перекись водорода и очистка протравленной поверхности от остатков наночастиц благородного металла.

Изменяя температуру среды, время осаждения катализатора на поверхность и концентрацию жидкости для травления, ориентацию поверхности и уровень легирования подложки можно получить КНН с разными морфологиями и свойствами.

В настоящей работе в качестве подложек были использованы р-тип монокристаллического кремния с кристаллической ориентацией поверхности (100). После процедуры травления образовались КНН, показанные на рисунке 2. Видно, что высота и диаметр КНН достигают порядка 8 мкм и 20-200 нм, соответственно. Расстояние между нитями 50-100 нм.

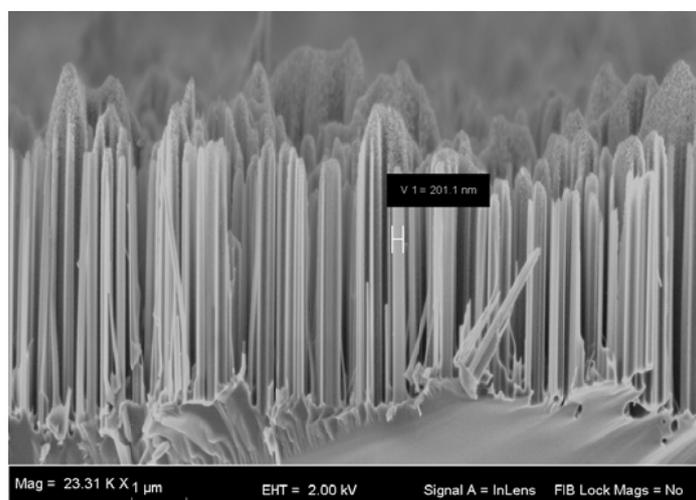


Рисунок 2 – Микрофотография кремниевых нанонитей, полученная электронным микроскопом

Далее методом напыления были нанесены непосредственно на поверхность КНН металлические контакты диаметром 1 и 2 мм и толщиной 300 нм. После чего образец помещался в камеру, куда подавалась струя органического газа. Экспериментальные данные показали, что КНН являются отличными сенсорами влажности и органических газов. На рисунке 3 представлены изменения тока КНН по времени в разных газовых средах при постоянном напряжении 500 мВ.

До 500 секунд был подан определенный газ на нанонити кремния. Также наблюдается мгновенное реагирование КНН после подачи газа, что свидетельствует о повышенных чувствительных свойствах данного наноструктурированного датчика.

После отключения газа значение тока КНН стремится к исходному состоянию, образец легко восстанавливается без дополнительных внешних воздействий.

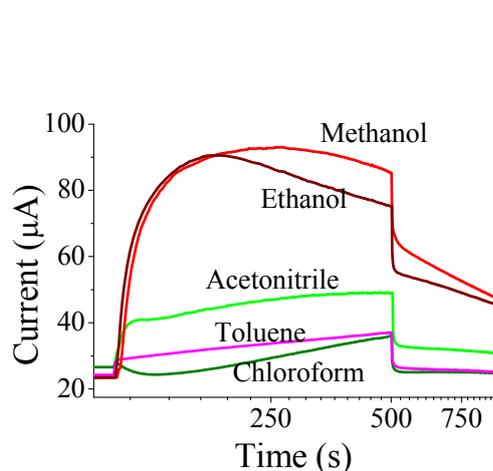


Рисунок 3 – Временное изменение силы тока через нанонитей кремния при воздействии органических газов

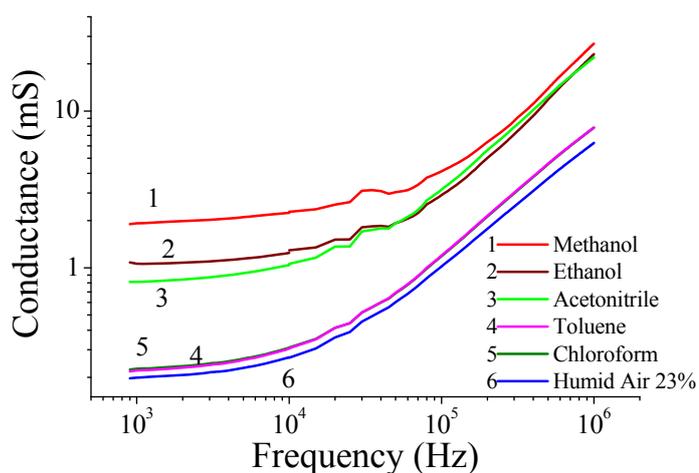


Рисунок 4 – Частотная дисперсия проводимости нанонитей кремния

По частотной дисперсии проводимости (измеренной в миллиСименсах) кривые для различных газов тоже заметно отличаются между собой (рисунок 4). При этом кривые разделились на две группы, что соответствует к разной полярности данных органических газов. Электрическая проводимость нанонитей при наличии неполярных газов толуола, хлороформа при комнатном влажном воздухе меняется более резко с повышением частоты поданного переменного напряжения.

REFERENCES

- [1] F. Demami, L. Ni, R. Rogel, A.C. Salaun, L. Pichon. Silicon nanowires based resistors as gas sensors. *Sensors and Actuators B*, **2012**, Vol. 170, p. 158-162 (in Eng.).
- [2] L. Ni, E. Jacques, R. Rogela, A. C. Salaun, L. Pichon, G. Wenga. VLS silicon nanowires based resistors for chemical sensor applications. *Procedia Engineering*, **2012**, Vol. 47, p. 240-243 (in Eng.).
- [3] Bairui Tao, Jian Zhang, Fengjuan Miao, Huilin Li, Lijuan Wan, Yiting Wang. Capacitive humidity sensors based on Ni/SiNWs nanocomposites. *Sensors and Actuators B*, **2009**, Vol. 136, p. 144-150 (in Eng.).
- [4] Kui-Qing Peng, Xin Wang, and Shuit-Tong Lee. Gas sensing properties of single crystalline porous silicon nanowires. *Appl. Phys. Lett.*, Vol. 95, **2009**, p. 243112 (in Eng.).
- [5] Yi Cui, Qingqiao Wei, Hongkun Park, Charles M. Lieber. Nanowire Nanosensors for Highly Sensitive and Selective Detection of Biological and Chemical Species. *Science*, **2001**, Vol. 293, p. 1289-129 (in Eng.).
- [6] Huilin Li, Jian Zhang, BaiRui Tao, LiJuan Wan, WenLi Gong. Investigation of capacitive humidity sensing behavior of silicon nanowires. *Physica E*, **2009**, Vol. 41, p. 600-604 (in Eng.).

КРЕМНИЙ НАНОЖИПШЕЛЕРІНІҢ ГАЗ СЕЗГІШТІК ЭЛЕКТРЛІК ҚАСИЕТТЕРІ

З. Ж. Жанабаев, Е. Сагидолда, М. К. Ибраимов

Тірек сөздер: кремний наножипшелері, металл-индуцияланған химиялық еріту әдісі, жиіліктік дисперсия, органикалық газдар.

Аннотация. Металл-индуцияланған химиялық еріту әдісімен алынған кремний наножипшелері зерттелді. Сканирующая электронная микроскопия арқылы үлгілердің морфологиясы алынды. Эксперименттік түрде кремний наножипшелердің газдарға сезімталдығы көрсетілді. Үлгіге органикалық газ берілген уақыттан бірнеше секунд ішінде әсер ететіні анықталды. Кремний наножипшелері өткізгіштігінің жиіліктік дисперсиясы полярлы және полярсыз органикалық газдарды анықтауға мүмкіндік береді. Сонымен қатар кремний наножипшелері дымқылды сезгіш құрал ретінде жұмыс істей алады.

Поступила 27.01.2015 г.

Правила оформления статьи для публикации в журнале смотреть на сайте:

www.nauka-nanrk.kz
physics-mathematics.kz

Редактор *М. С. Ахметова*
Верстка на компьютере *Д. Н. Калкабековой*

Подписано в печать 10.02.2015.
Формат 60x881/8. Бумага офсетная. Печать – ризограф.
4,7 п.л. Тираж 300. Заказ 1.