

**ЖИВАЯ НАУЧНАЯ ШКОЛА
АКАДЕМИКА РЖАНОВА:
к 100-летию со дня рождения
А.В. Ржанова (1920-2000)**

Выставка, посвященная 100-летию со дня рождения Анатолия Васильевича Ржанова

Библиотека представляет вашему вниманию виртуальную выставку «ЖИВАЯ НАУЧНАЯ ШКОЛА АКАДЕМИКА РЖАНОВА: к 100-летию со дня рождения А.В. Ржанова (1920-2000)»

9 апреля 2020 года исполнилось сто лет со дня рождения знаменитого советского и российского физика академика Анатолия Васильевича Ржанова (1920-2000). Он был организатором и первым директором Института физики полупроводников Сибирского отделения РАН, который сейчас носит его имя. Анатолий Ржанов — один из тех ученых, которые определяли становление полупроводниковой науки в нашей стране: он показал, что исследование поверхности материалов, развитие методов управления ее состояниями необходимо для создания любых надежных и долговечных полупроводниковых устройств, и в первую очередь транзисторов — ключевых элементов электроники.

Во всем мире известны прикладные разработки ИФП СО РАН — инфракрасные фотоприемники на основе гетероструктур кадмий-ртуть-теллур, используемые в качестве спутниковых «глаз», арсенид-галлиевые электронно-оптические преобразователи для приборов ночного видения, медицинские тепловизоры.

Выставка демонстрирует монографии, статьи из периодических изданий и т.д.

Адресована преподавателям, студентам физических факультетов, а также тем, кто интересуется физикой XX века.



Выставка состоит из двух разделов:

1. Человек огромной воли.

1. Тренд развития полупроводниковой физики.



Академик Анатолий Васильевич Ржанов (1920-2000) - крупнейший ученый в области полупроводниковой микроэлектроники и физики поверхности полупроводников.



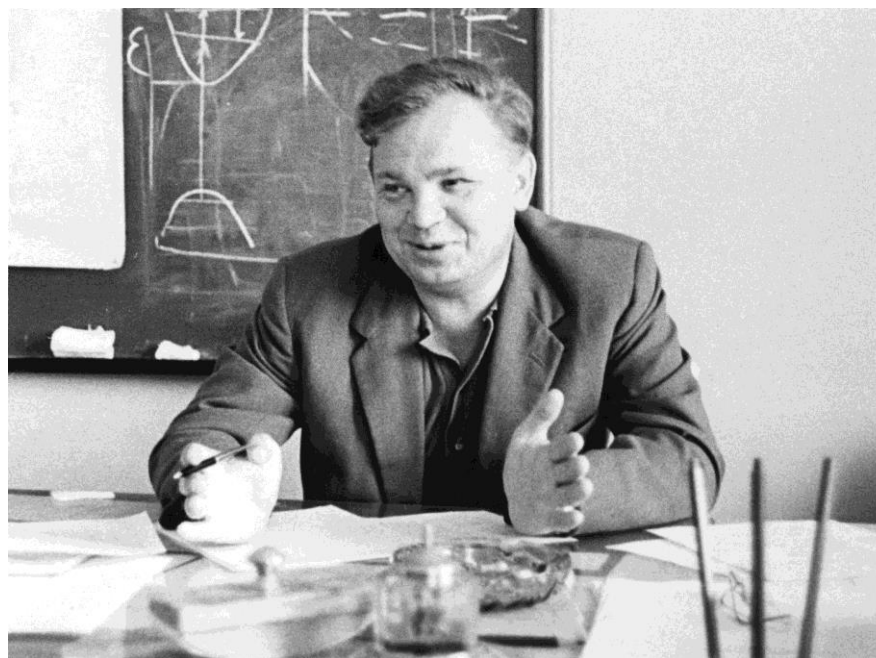
Анатолий Васильевич прошел очень сложный жизненный путь - воевал, был ранен на Ленинградском фронте. Тяжелое ранение в 1943 году, казалось, навсегда закрывает для А.В. Ржанова путь в науку, однако он уже в 1948 году блестяще заканчивает аспирантуру *Физического института им. Лебедева* и начинает первые в СССР работы по созданию полупроводникового транзистора. В 1962 году по приглашению академика *М.А.Лаврентьева* он с группой сотрудников *ФИАН* переезжает в *новосибирский Академгородок*, где организует Институт физики твердого тела и полупроводниковой электроники (впоследствии *Институт физики полупроводников*). За относительно короткое время был создан коллектив ученых и инженеров, способных выполнять глубокие фундаментальные и прикладные исследования. В числе таких разработок можно упомянуть энергонезависимые матричные элементы памяти, различные приборы и устройства СВЧ-электроники и фотоприемные устройства от видимого до дальнего инфракрасного диапазона спектра излучения.

В первую очередь разработки института использовались на полупроводниковых предприятиях Сибирского региона. Достижения института были отмечены пятью Государственными премиями и Премией Совета министров СССР.

Понимая, что наука не может обойтись без притока молодежи, Анатолий Васильевич много сил отдавал воспитанию молодых кадров. Он руководил многочисленными аспирантами, организовал при *НГУ* кафедру физики полупроводников, долгие годы, являясь ее бессменным руководителем. В числе учеников Анатолия Васильевича три члена-корреспондента РАН, десятки докторов и кандидатов наук.

Анатолий Васильевич успешно сочетал большую научную работу со значительной научно-организационной деятельностью. Долгое время он являлся заместителем председателя Сибирского отделения АН СССР. Он был членом бюро Научного совета по физике и химии полупроводников, главным редактором журнала "Микроэлектроника", председателем комиссии по элементной базе Комитета по вычислительной технике АН СССР. В течение многих лет он представлял СССР в Международном вакуумном союзе.

Заслуги Анатолия Васильевича перед страной отмечены высокими правительственными наградами. Он награжден орденами Трудового Красного Знамени, Октябрьской революции, Ленина, "За заслуги перед Отечеством" IV степени. За мужество и героизм, проявленные на фронте, А. Ржанов награжден также боевыми орденами и медалями.



«Ржанов - человек огромной воли: он защитил диплом с отличием во время войны, сдал кандидатские экзамены, написал диссертацию, несмотря на тяжелые проблемы со здоровьем. Он напряженно учился, имея все причины этого не делать»

академик РАН А.Л. Асеев

«Анатолий Васильевич определил основные научные направления в институте: исследования поверхности полупроводника, границ его раздела с внешней средой и тонких полупроводниковых пленок. На их основе сделаны все полупроводниковые приборы, которые сейчас существуют»

советник РАН член-корреспондент РАН
И. Г. Неизвестный

Человек огромной воли



Пармон
Валентин
Николаевич

Академик РАН, директор
Объединенного института ката-
лиза СО РАН

Родился 18 апреля 1948 г.
в г. Бранденбурге (Германия) в семье
врач-офтальмолога. Окончил Москов-
ский физико-технический институт
в 1975 г., аспирантуру при МФТИ
в 1975 г.

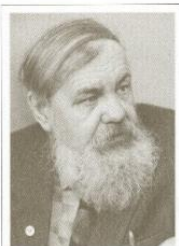
Доктор химических наук (1985),
профессор (1989), академик РАН
(1997).

С 1975 по 1995 г. — младший
научный сотрудник, старший науч-
ный сотрудник, заведующий лабора-
торией, заместитель директора
на кафедре, с 1995 г. — директор
Института катализа СО РАН,
с 1997 г. — директор Объединенного
института катализа СО РАН.

Автор и соавтор более 300
публикаций, в том числе четырех
монографий, по проблемам катализа
и химической кинетики в конденсиро-
ванных фазах, химической истории,
преобразования энергии, итерацион-
ных и нелинейных источников энергии.

Кавалер ордена Почета (1999).
Литература: *Воздуше питание
шляхи России.* — М., 1998.

564



Покровский
Николай
Николаевич

Академик РАН, заместитель
директора Института истории
им. М. В. Ломоносова СО РАН

Родился 20 июня 1930 г.
в г. Ростове-на-Дону из служащих.
Окончил Московский государственный
университет в 1952 г., аспиран-
туру при МГУ в 1955 г.

Доктор исторических наук
(1974), профессор (1977), академик
РАН (1992).

С 1955 по 1957 г. — ассистент
кафедры источниковедения МГУ,
с 1964 по 1965 г. — заведующий отде-
лом, заместитель директора Влади-
мир-Суздальского музея-заповедни-
ка, с 1965 по 1966 г. — младший
научный сотрудник отдела гумани-
тарных исследований Института
экологии и организации производств
СО АН СССР, г. Новосибирск, с 1966 г. —

младший научный сотрудник,
старший научный сотрудник, заведу-
ющий сектором Института истории,
философии и философии СО РАН,
г. Новосибирск, с 1991 г. — замести-
тель директора по научной работе
Института истории СО РАН.

Автор более 200 публикаций,
в том числе девяти монографий,
по проблемам русской истории
XVI—XX вв.

Кавалер ордена Почета (1998).

Сибирское отделение Российской академии наук



Ржанов
Анатолий
Васильевич

Академик РАН, почетный
директор Института физики
полупроводников СО РАН

Родился 9 апреля 1920 г.
в г. Иваново в семье военнору-
жельщика. Окончил Ленинградский
политехнический институт в 1941 г.;
аспирантуру при Физическом
институте им. П. П. Лебедева
АН СССР в 1948 г.

Доктор физико-математических
наук (1952), профессор (1967),
академик АН СССР (1984).

В 1961—1962 г. — главный
специалист-учебный секретарь
ученого совета Государственного
комитета Совета министров СССР
по координации научно-исследова-
тельских работ; в 1962—1964 г. —
директор Института физики твердого
тела и полупроводниковой электрони-
ки СО АН СССР;

в 1964—1986 г. — директор Институ-
та физики полупроводников СО АН
СССР; в 1986—1991 гг. — заместитель
президента СО АН СССР;
с 1991 г. — почетный директор
Института физики полупроводников
СО РАН.

Автор более 2000 научных работ
по проблемам физики полупроводни-
ков и физическим основам микроэлектроники.

Кавалер орденов Отечественной
войны I и II степени, Трудового
Красного Знамени, Октябрьской
Революции, Ленина, «За заслуги
перед Отечеством» IV степени.



Сэгдеев
Ренат
Зиншурович

Академик РАН, директор
Международного томографического
центра СО РАН

Родился 13 декабря 1941 г.
в г. Казань, из служащих. Окончил
Новосибирский государственный
университет в 1963 г.

Кандидат физико-математиче-
ских наук (1970), доктор химических
наук (1978), академик РАН (1997).

С 1965 по 1983 г. — стар-
ший исследователь, младший научный
сотрудник, ученый секретарь, стар-
ший научный сотрудник, заведу-
ющий лабораторией, с 1983 г. —
заместитель директора по научной
работе Института химической
физики и горения СО РАН, г.
Новосибирск; с 1993 г. — директор
Международного томографического
центра СО РАН, г. Новосибирск.

Автор более 400 публикаций
по проблемам химической физики
и физической химии.

Лауреат Ленинской премии
(1986), Государственной премии РФ
(1994).

Литература: *Воздуше питание
шляхи России.* — М., 1998.



Скринский
Александр
Николаевич

Академик РАН, директор
Института ядерной физики
им. Г. И. Бубенкова СО РАН

Родился 15 января 1936 г.
в г. Оренбурге, из служащих. Окончил
Московский государственный
университет в 1959 г.

Доктор физико-математических
наук (1966), профессор (1969),
академик АН СССР (1970).

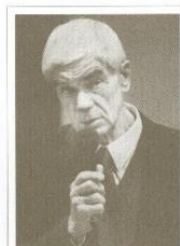
С 1959 по 1972 г. — стар-
ший лаборант, младший научный сот-
рудник, заместитель начальника сектора,
заведующий лабораторией;
с 1972 по 1978 г. — заместитель
директора, с 1978 г. — директор
Института ядерной физики
СО АН СССР.

Академик-секретарь отделения
ядерной физики РАН.

Автор и соавтор более 200
публикаций по проблемам физики
высоких энергий, физики и техники
ускорителей, генерации и примене-
ния спонтанного излучения, лазеров
на свободных электронах.

Лауреат Ленинской премии
(1967), Государственной премии
— (1989).

Кавалер ордена Трудового
Красного Знамени (1975), Октябрь-
ской Революции (1982), «За заслуги
перед Отечеством» IV степени (1996).



Титов
Владимир
Михайлович

Академик РАН, директор
Института гидроэлектрики
им. М. А. Лаврентьева СО РАН

Родился 19 сентября 1933 г.
в г. Ленинграде, из служащих.
Окончил Московский физико-
технический институт в 1957 г.,
аспирантуру при МФТИ в 1960 г.

Доктор физико-математических
наук (1969), профессор (1971),
академик АН СССР (1990).

С 1960 по 1986 г. — младший
научный сотрудник, старший науч-
ный сотрудник, заведующий лабора-
торией, заместитель директора
по научной работе, с 1986 г. —
директор Института гидроэлектрики
им. М. А. Лаврентьева СО АН СССР.

Автор более 100 научных работ,
в том числе 17 изобретений, по про-
блемам физики и металлургии гидро-
протекания процессов.

Лауреат Государственной премии
РФ (1994).

Кавалер двух орденов Трудового
Красного Знамени (1967, 1986),
ордена Октябрьской Революции
(1975), «Знак Почета» (1981),
«За заслуги перед Отечеством»
IV степени (1990).

Литература: *Нарочна вода: что
есть это в РАН.* — М., 1983. *Россий-
ский академик мира.* Справоч-
ник. 1999. — М., 1999. *Какое есть это
в России.* — М., 2000.

565

Лев
МАСС

В справочнике «Сибирь в лицах» напечатан краткий биографический очерк об ученом.

ШКОЛА ЖИЗНИ

Он привозил свои статьи сам

...Несколько лет Анатолий Васильевич был автором «Советской Сибири». Писал он редко... Это был единственный из академиков, который свои статьи сам привозил в редакцию. Скромный, в очках с толстыми стеклами, внешне неприметный, он, заходя в кабинет, спрашивал с улыбкой:

— Я вам еще не надоел?

Да как он мог надоест, если статьи его всегда были острыми, даже горькими, аналитическими и просто умными! А главное для журналиста — их не надо было править. Ржанов писал превосходно. И совсем не о физике, а о науке в целом, которую он всегда защищал, о морали и нравственных ценностях, о всем том в российской жизни, что вызывало в нем тревогу и несогласие. В статьях его была не только аргументированная позиция ученого, но и боль фронтовика, который защищал свою страну уж никак не ради рыночной экономики и стихии.

Его школа жизни не располагала ни к забвению прошлого, ни к иллюзиям. В тридцатые годы он жил в доме, где почти всех соседей арестовали. В институте он сидел на комсомольских собраниях, на которых студенты должны были охлавить своих родителей за то, что они... не разглядели в отце с матерью «врагов народа». Да и его собственного отца, боевого офицера и кристально честного человека, чуть не расстреляли, тоже признав за «врага». Когда началась война, на фронт ушла вся семья Ржановых.

Сам Анатолий Васильевич, командир морских десантников (сейчас бы их назвали морпехами), героически защищавший вместе с отцом родимый Питер, знаменитый теперь в истории Ораниенбаумовский пятачок, был понижен сразу на два звания за то, что избил своего командира, отдававшего дурацкие приказы, из-за которых понапрасну гибли защитники Ленинграда. Справедливость словно была ему привита с детства. Он вступался за нее, рискуя и не щадя своей жизни.

Мало кто знал — фронтовики обычно молчаливы, — что спина у Ржанова в играмах, а если точнее, то полувырвана взрывом, что он живет с одним глазом, что грудь его в орденах и боевых медалях, что с юных лет он читал запоем, работал запоем и вывел в люди столько своих учеников, товарищей и коллег, что они состоялись как ученые на самых разных направлениях науки. Полагаю, что этой аргументации достаточно, чтобы согласиться с заголовком «Школа жизни». Повизны в нем нет, но точность стопроцентная.



Академик А.В. Ржанов.

В Институте физики полупроводников научные школы связаны с двумя знаковыми именами — Анатолия Васильевича Ржанова и сменившего его на посту директора Константина Константиновича Свиташова.

— Как раз сегодня, — уточнил пышешный директор института, академик Александр Леонидович Асеев, едва началась наша беседа, — мы были с утра на кладбище и вспоминали Ржанова и Свиташова. Теперь у нас есть возможность вспомнить этих замечательных ученых сообща, вместе с вами.

— В середине 60-х годов, — продолжал Асеев, — Ржанов читал нам лекции по физике полупроводников вот в этом самом кабинете, где мы сейчас сидим. Тогда в НГУ пошли спецкурсы. Лекции свои Анатолий Васильевич читал с воодушевлением, сам увлекаясь так, словно он был студентом, а не мы. Его неординарность сразу замечалась. А вот о своих фронтовых ранах он, конечно, нам ничего не говорил. Их было много, но они ему не мешали вскоре после госпиталей поступить в аспирантуру знаменитого ФИАНа, одного из главных, если не самого глав-

Сборник воспоминаний ученых «Преемственность» о зарождении и развитии в настоящее время научных школ Сибири. Книга издана в честь 50-летия СО РАН.

Академик А.В. Ржанов – организатор
и первый директор Института
физики полупроводников



Академик А.В. Ржанов

В конце 1950-х гг. во время визита в новосибирский Академгородок председателя Совета Министров СССР А.Н. Косыгина прозвучало предложение создать в научном центре институты по новым направлениям науки – вычислительной технике и полупроводниковой электронике. Вскоре в Новосибирск пригласили Г.И. Марчука, который должен был возглавить Вычислительный центр, и А.В. Ржанова – будущего директора Института физики твердого тела и полупроводниковой электроники (ИФТТ).

Анатолий Васильевич Ржанов (1920–2000) после окончания Ленинградского политехнического института (1941 г.) ушел на фронт, был тяжело ранен. Как только позволило здоровье, он поступил в аспирантуру Физического института им. П.Н. Лебедева АН СССР и начал заниматься проблемой керамических пьезоэлектриков, которая стала основой кандидатской диссертации (1948 г.). Им был открыт пьезоэффект поляризованных керамических образцов титаната бария, что совершило переворот в использовании пьезоэффекта в гидролокации и других областях техники [1].

Несмотря на открывающиеся перспективы в развитии керамических пьезоэлектриков, А.В. Ржанов переключился на совершенно новую область и начал заниматься исследованием полупроводников. По поручению директора ФИАН академика С.И. Вавилова группе энтузиастов во главе с А.В. Ржановым за короткие сроки удалось создать первый в СССР германиевый транзистор, разработать физические основы его технологии и положить начало циклу фундаментальных исследований поверхностных свойств германия и кремния. Во время работы в ФИАН А.В. Ржанов защитил также докторскую диссертацию (1961 г.), стал известным уче-

ным и организатором научных исследований. Он занимал пост ученого секретаря Государственного Комитета СМ СССР по координации научных работ.

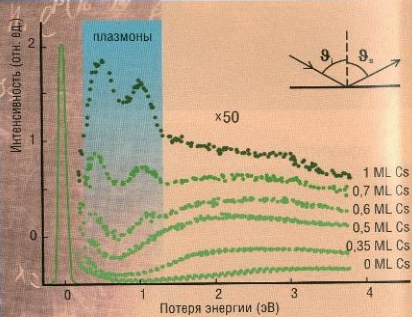
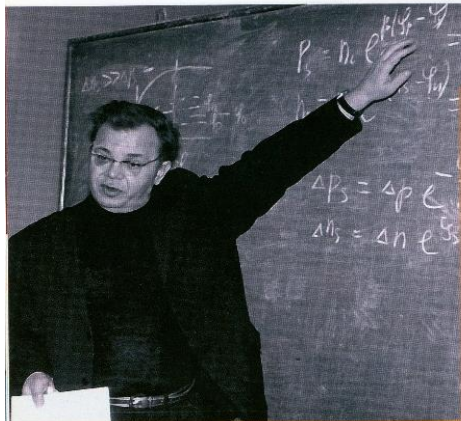
После поездки в Академгородок и знакомства с людьми, «которые действительно могут делать дело», 42-летний А.В. Ржанов принял приглашение председателя СО АН СССР академика М.А. Лаврентьева возглавить институт [2]. В 1962 г. А.В. Ржанова, специалиста по полупроводниковой микронэлектронике и физике поверхности полупроводников, избрали членом-корреспондентом АН СССР на вакансию Сибирского отделения, и вместе с группой сотрудников из ФИАН он приступил к организации нового института. В сентябре 1962 г. ИФТТ располагал всего лишь одной комнатой в Институте неорганической химии.

После переезда в Сибирское отделение А.В. Ржанов за относительно короткое время создал коллектив ученых и инженеров, способных выполнять глубокие фундаментальные и прикладные исследования. Он лично беседовал с молодыми учеными различных вузов и организаций, увлекая перспективами нового дела в Сибири. В составе «научного десанта» были специалисты с ученой степенью: Л.С. Смирнов, С.В. Богданов, Р.С. Нахмансон, Л.Н. Александров и другие, которые возглавили лаборатории и группы. Среди молодых сотрудников, прибывших из разных городов страны – Ленинграда, Москвы, Одессы, Воронежа, Харькова, можно назвать К.К. Савиташева, В.Н. Овсяюка, С.И. Стенина, С.М. Релинского и многих других, ставших впоследствии крупными учеными. Своим заместителем А.В. Ржанов назначил И.Г. Неизвестного.

Научные направления института были сформулированы как исследования общих закономерностей физики твердого тела; исследования в области физики и электроники полупроводников, развитие теории полупроводниковых приборов [3]. Л.С. Смирнов занялся формированием лаборатории радиационной физики, С.В. Богданов – акустоэлектроники. По воспоминаниям С.В. Богданова, директор предложил ему самостоятельно определить тематику будущей лаборатории. Когда ученый остановил свой выбор на акустоэлектронике, Анатолий Васильевич «не подал даже виду, что предпочел бы чисто полупроводниковую тематику» [4]. С.В. Богданов получил возможность наряду с организацией лаборатории завершить исследования, начатые в ФИАНе, и в 1965 г. защитил первую в институте докторскую диссертацию.

Развитие материальной базы, по воспоминаниям А.В. Ржанова, шло очень трудно, «так как смета Сибирского отделения была уже давно перерасходована и никакой экономии не было, за счет которой можно было создавать новые институты» [5]. Поэтому вопрос с привлечением средств на развитие производственной компоненты института А.В. Ржанову при-

В книге «Очерки о лидерах академической науки Сибири» рассмотрена деятельность ученых, которые выступили организаторами академического центра в Новосибирске в 1957 г. и стали основателями новых институтов, научных направлений и научных школ.



Открытия на поверхности полупроводников

Десять лет назад мало кто мог предположить, что словосочетание «нанозлектроника» прочно войдет не только в научный оборот, но и в лексикон государственных деятелей развитых стран, в том числе и России

Вставшей классической монографии «Электронные процессы на поверхности полупроводников» (1971) академика А. В. Рязнова — первый директор Института физики полупроводников СО РАН, которому недавно присвоено имя ученого, — изложили результаты примерно сорокалетнего периода исследований поверхности полупроводников. Начало этим исследованиям положили работы академика И. Е. Тамма, который теоретически показал возможность существования особых состояний электронов на поверхности кристаллов. В конце 1940-х гг. в процессе

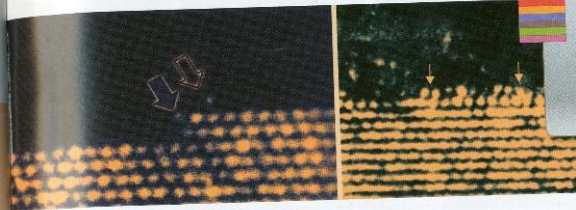
А. В. Рязнов — академик АН СССР, организатор и директор Института физики твердого тела и полупроводниковой электроники СО АН СССР (впоследствии — Институт физики полупроводников СО РАН)

дальнейшего экспериментального изучения был открыт транзисторный эффект — одно из величайших достижений науки XX века.

В предисловии к своей книге А. В. Рязнов, которого мы с полным правом можем назвать одним из основателей физики поверхности полупроводников, сформулировал основные проблемы развития этой области науки и наметил пути их решения, которыми и руководствовались его ученики и последователи.

По мнению ученого, основные результаты в физике полупроводников можно было получить в процессе уведения химической чистоты и структурного совершенства кристаллической решетки исходных веществ. Таким образом, усилия исследователей в 70–80-е гг. прошлого столетия были направлены на развитие технологии выращивания совершенных монокристаллов полупроводников.

К примеру, в Институте физики полупроводников СО РАН была освоена технология выращивания высококачественных монокристаллов кремния диаметром до 125 мм. Используемый при этом метод бестигельной



Спектры энергетических потерь для различной степени интенсивности покрытия цезием поверхности GaAs

зонной плавки обеспечивает отсутствие дислокаций, а также низкое содержание

электрически активных примесей (в концентрации менее 10^{12} см^{-3} при содержании электрически неактивных примесей (кислород, углерод) в концентрации, не превышающей 10^{16} см^{-3}). Сегодня эти монокристаллы используются для создания элементов силовой электроники с предельными по величине переключаемой мощности параметрами (сотни кВт).

Не менее значимые результаты получены в институте и при решении проблем не только химической чистоты и совершенства поверхности полупроводников, но также границ раздела «полупроводник-диэлектрик» и «полупроводник-полупроводник». Важную роль в этом сыграли разработка и применение нового поколения методов и инструментов для изучения электронных свойств и атомной структуры поверхности совместно с фантастическими возможностями по пространственному и энергетическому разрешению.

Важным шагом по оптимизации технологии получения совершенных границ раздела явилось развитие лазерной эллипсометрии. Этот метод, основанный на измерении углов поляризации отраженного света, был доведен в институте до высокой степени совершенства по следующим показателям: чувствительность (доли монослоя), быстродействие (микросекунды) и уровень автоматизации. Применение этого метода и совершенствование техники измерения вольт-фарядных характеристик структур «металл-диэлектрик-полупроводник» позволили разработать технологию, с помощью которой можно получить границу раздела InAs-диэлектрик с исключительно низкой плотностью поверхностных состояний (менее $10^{10} \text{ см}^{-2} \text{ В}^{-1}$).

На основе этих структур были разработаны фоточувствительные

Установка МЛЭ «Обь-М» для выращивания эпитаксиальных слоев соединений кадмий-руть-теллур

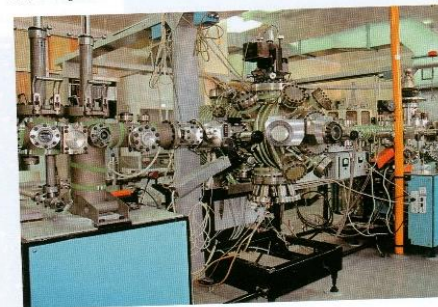
1971 Опубликована классическая монография А. В. Рязнова, посвященная электронным процессам на поверхности полупроводников

Границы раздела кристаллов Ge (а) и InSb (б) с пленками оксида на поверхности. Электронный микроскоп с высоким разрешением

элементы для матричных фотоприемных устройств среднего ИК-диапазона (2,5–3,0 мкм), применяемых в тепловизорах медицинского назначения; а в дальнейшем — для ИК-микроскопов и быстродействующих ИК-спектрометров.

Использование поверхностно-чувствительных методов электронной спектроскопии позволило получить впечатляющие результаты в процессе изучения элементарных механизмов фотогенерации электронов полупроводниковыми системами с отрицательным электронным зарядом. Эти методы легли в основу технологий, разработанных в ИФП для получения полупроводниковых электронно-оптических преобразователей нового поколения, использующихся в современной технике ночного видения.

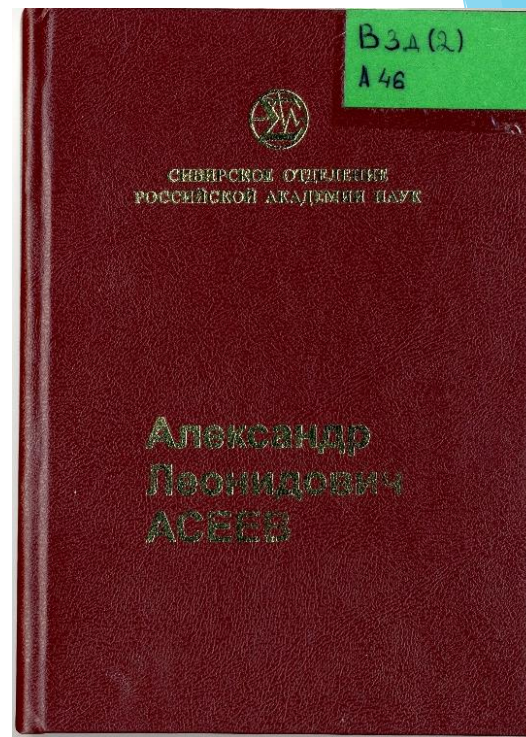
Самый мощный импульс развитию физики поверхности полупроводников дали ускоренные темпы совершенствования технологии молекулярно-лучевой эпитаксии (МЛЭ). Ее основой является метод последовательного наращивания из молекулярных пучков отдельных атомных слоев кристаллических материалов на поверхности полупроводниковой подложки; при



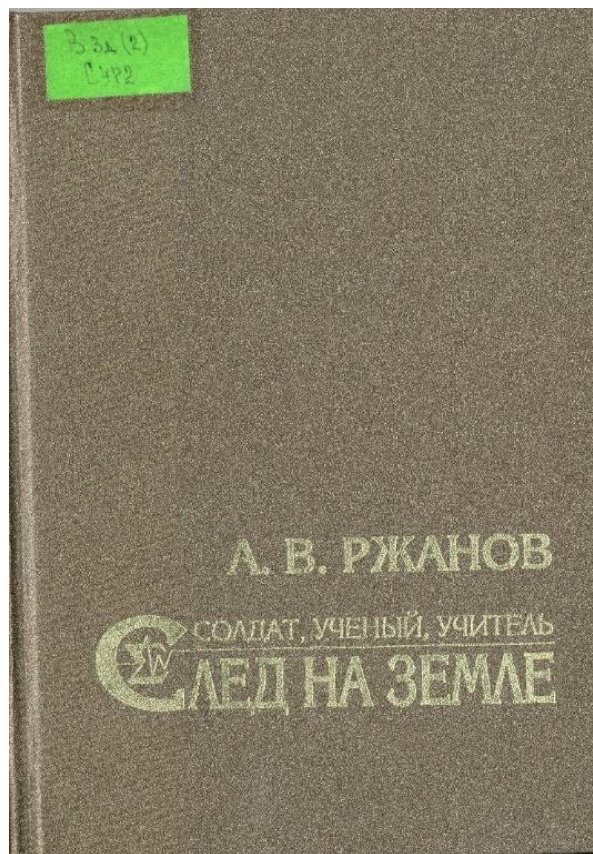
В журнале «Наука из первых рук», посвященном 50-летию СО РАН, напечатана статья об Институте физики полупроводников, его современных научных разработках.



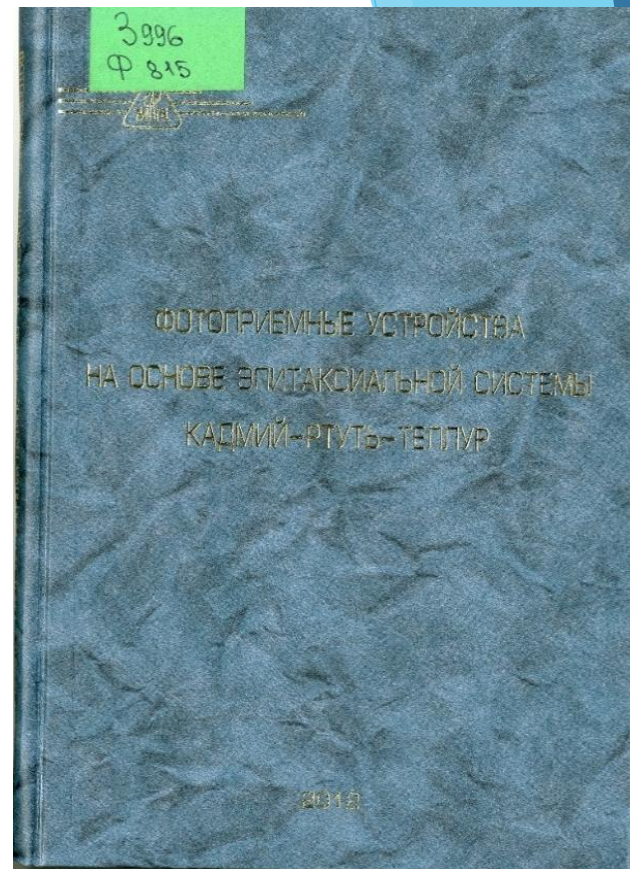
В сборник входят материалы, посвященные видным физикам современности.



Библиографический указатель посвящен известному ученому А.Л. Асееву. Указатель охватывает временной отрезок с 1969 по 2012 гг.



Книга открывается воспоминаниями автора. Основную часть книги составляют научные труды академика. Завершают издание несколько воспоминаний учеников и соратников ученого.



Представлены результаты комплекса работ Института физики полупроводников им. А.В. Ржанова СО РАН.



Оборудование для эпитаксиальных технологий полупроводниковой наноэлектроники позволяет создавать пленки с резкими границами раздела за счет низкой скорости роста и быстрого изменения потоков в условиях сверхвысокого вакуума

Конечно, мы в институте предпринимаем ряд действий, чтобы перевести имеющиеся у нас технологии в полупромышленный статус. У нас есть три высокотехнологические линии для изготовления приборных структур и схем на основе трех видов полупроводниковых материалов: А, (кремний и германий), A_2B_3 (арсенид галлия, нитриды) и A_2B_5 (вадмий-рутень-теллур). Разработка новых приборов и схем требует перехода на другой уровень технологического оборудования, и в качестве ключевого требования к которому выдвигается обеспечение нанометровых размеров элементов в структурах и создающихся приборах и схемах. К сожалению, возможность этих технологических линий для практической реализации существенно затруднена, т.к. промышленные предприятия перешли на использование подложек диаметром 100 мм и более, тогда как имеющиеся у ИФП СО РАН ростовые установки имеют максимальный диаметр пластин 76 мм.

У нас есть высококвалифицированные специалисты, мастера своего дела, чтобы реализовать самые высокие требования индустриального партнера, но все же для полномасштабного выполнения научного потенциала необходима современная технологическая база в виде центров прототипирования изделий био- и наноэлектроники, позволяющих разрабатывать и производить малые серии принципиально новых продуктов на основе технологий кремниевой наноэлектроники.

Какие векторы и точки роста мы видим в программе реиндустриализации Новосибирского региона? Современная микроэлектроника развивается по пути изменения геометрического размера транзистора: известно, что каждые два года он

уменьшается в два раза, а частота процессора двукратно увеличивается. В ИФП СО РАН мы занимаемся и этой проблемой, но она не единственная, поскольку переход на новый уровень требует наличия технологической линии предыдущего уровня, доступ к которой для нас затруднен.

Наши усилия направлены на использование альтернативных, так называемых гетероэпитаксиальных подложек, когда на кремнии выращиваются дополнительные многоуровневые слои других материалов, созданных в сверхвысоком вакууме и не существующих в природе. Это позволяет развивать электронную компонентную базу на новых физических принципах. Уровень наших технологий соответствует лучшим мировым образцам, что позволяет нам быть поставщиками пластин с высокоподвижным двумерным электронным газом не только для различных университетов и исследовательских центров РФ, но и для ряда стран Европы, Америки, Китая.

Мы работаем также над проблемами перехода от двумерной к трехмерной схемотехнической архитектуре, используя технологию 3D-структурирования. Обычно в кремниевой пластине — один рабочий планарный слой, содержащий активные элементы и расположенный в глубине кристалла; к нему идут контакты, и вся информация извлекается только с него, остальная же толщина подложки остается незадействованной. Переход к трехмерной архитектуре многократно уменьшит размер полупроводникового чипа.

Все перечисленные направления исследования лежат в русле тенденций развития элементной базы современной полупроводниковой электроники и связаны с решением фундаментальных

диффузных же наноструктур с квантовыми ямами и их комбинациями, а также включают решение задач синтеза наноструктур, выплески закономерностей квантового электронного транспорта, оптических и магнитных явлений, ориентированных на создание приборов устройств наноэлектроники, нанофотоники, спинтроники, сенсорики, квантовых информационных систем. Это и есть возможные точки роста развития полупроводниковой электроники в программе реиндустриализации региона.

Залог успеха в науке и технологиях сегодня — обладание парком современной базы, способной осуществлять диагностическое и метрологическое сопровождение на самом высоком уровне. Действительно, эффективное развитие наукоемких критических технологий невозможно без опережающего прогресса современных аналитических методов физико-химической диагностики на атомно-молекулярном уровне, и для этого требуются адаптация традиционных и развитие новых способов исследований и анализа свойств и процессов, присущих объектам нанометровой геометрии и системам пониженной размерности. Уменьшение размеров исследуемых и создаваемых функциональных объектов влечет за собой многократное усложнение процесса измерения, калибровки и стандартизации с максимальной точностью.

Сложность диагностики функциональных нанобъектов и высокая стоимость соответствующего аналитического оборудования привела к созданию центров коллективного пользования такими приборами. Подобные ЦКП выступают составными частями формирующейся нанотехнологической сети РФ. Преимущество программы реиндустриализации региона — то, что академические ЦКП входят в состав инфраструктуры Центра метрологического обеспечения и оценки соответствия нанотехнологий и продукции наноиндустрии в Сибирском федеральном округе, обеспечивая измерительные потребности предприятий в регионе. В частности, ЦКП «Наноструктуры» при ИФП СО РАН оказывает диагностическую и метрологическую поддержку разработкам конкурентоспособных на мировом рынке продуктов и технологий в области индустрии наносистем в интересах микро- и наноэлектроники. Сотрудники, работающие в ЦКП «Наноструктуры», — высококвалифи-



Сотрудник ИФП СО РАН Сергей Ситников за работой по созданию и анализу новых материалов, не существующих в природе

цированные специалисты с многолетним опытом выполнения метрологических и научно-исследовательских работ, включая квалифицированное обслуживание сложного диагностического оборудования. С целью обеспечения единства измерений в ЦКП используются сертифицированное оборудование и аттестованные методики прецизионных измерений.

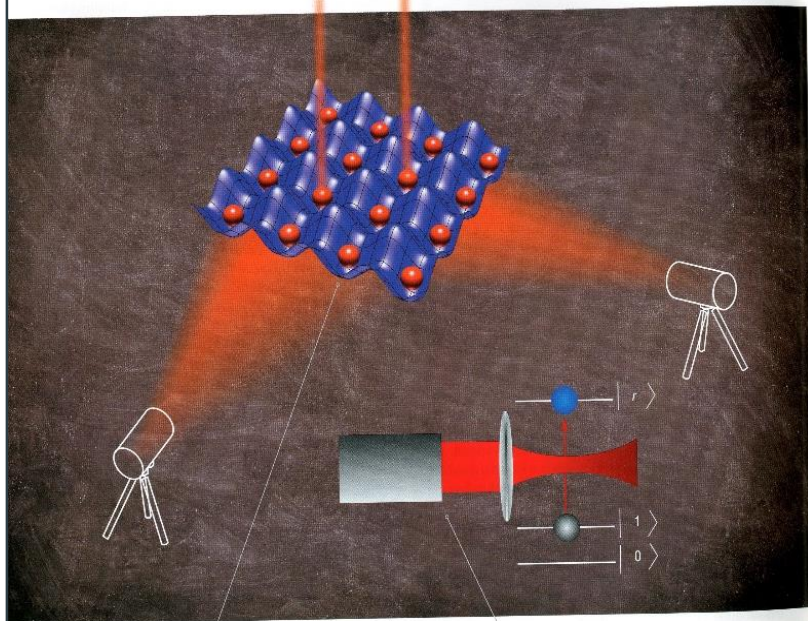
У института существуют долгосрочные крепкие партнерские отношения со многими полупроводниковыми предприятиями, в том числе в Новосибирске. Это АО «НЭИП с ОКБ», АО «НПО «Восток», ОАО «Октава», ОАО «Швабе — Приборы», ОАО «Катод» и другие. В числе совместных с НПО «Восток» разработок последних лет — изготовление многопиксельной фоточувствительной матрицы сложной архитектуры и сверхчувствительных нанопроволочных сенсоров с фемтомольной чувствительностью для биологов. Мы уже сейчас способны делать последние штучно, но для проведения экспертизы, доклинических и клинических испытаний их нужны тысячи. Пока не получается, хотя мы сотрудничаем с другими институтами, которые работают в этой области здесь, в Сибири, и в Москве.

И в заключение. Исследования Института физики полупроводников им. А.В. Ржанова в области низкоразмерных систем выполнены на мировом уровне, а часть из них задают этот мировой уровень. Но на пути коммерциализации инноваций совместно с промышленностью без реорганизации процесса передачи разработки и без модернизации производственной структуры и не обойтись. ■

Подготовили Виктор Фридман и Юлия Позднякова

В 12 номере журнала «В мире науки» за 2015 г. опубликована статья о современных научных разработках Института физики полупроводников им. А. В. Ржанова СО РАН.

КВАНТОВЫЕ КОМПЬЮТЕРЫ на «ХОЛОДНЫХ АТОМАХ»



Основа квантового компьютера – кубиты, квантовые объекты, каждый из которых может находиться в одном из двух квантовых состояний. Кубиты могут быть изготовлены на основе атомов щелочных металлов, охлажденных до сверхнизких температур и удерживаемых лазерным излучением. Квантовая информация хранится в двух долгоживущих сверхтонких подуровнях основного состояния атома, рассматриваемых как логические нули и единицы. Взаимодействие атомов друг с другом происходит при лазерном возбуждении высоковозбужденных (ридберговских) состояний.

Нередко возникает вопрос: есть ли в современной физике задачи, сопоставимые по значимости с созданием атомной бомбы? Такой задачей можно считать создание квантового компьютера. Хотя этим занимается множество физиков, вопрос о том, можно ли создать практически полезный квантовый компьютер, остается открытым. Интерес к реализации квантовых вычислений вызван даже не столько их практической значимостью, сколько тем, что проблема квантового компьютера тесно связана с одним из магистральных направлений современной науки – управлением отдельными квантовыми системами. Работы в этой области в 2012 г. были удостоены Нобелевской премии по физике

До сих пор прогресс в микроэлектронике иллюстрировался эмпирическим законом Мура: каждые два года число транзисторов, размещаемых на кристалле интегральной схемы, удваивается. Однако законы квантовой механики ставят предел скорости обычных компьютеров, поскольку дальнейшее уменьшение размеров транзистора невозможно из-за эффекта квантового туннелирования электрона через закрытый затвор транзистора.

В настоящее время созданы технологии фотолитографии с разрешающей способностью 14 нм, а квантовый предел ширины затвора составляет приблизительно 5 нм. И в этом смысле квантовые вычисления – это попытка превратить ограничения в преимущество.

РОДОМ ИЗ СССР

Идея квантовых вычислений имеет российское (советское) происхождение. Еще в 1973 г. математик А. С. Холево опубликовал работу, в которой доказал теорему Холево, что n двухуровневых квантовых систем (квантовых битов) могут хранить информации больше, чем n битов. Спустя семь лет идею создания «квантовых автоматов», т. е. квантового компьютера, выдвинул советский математик Ю. И. Манин во введении к своей книге «Вычислимое и невычислимое» (1980). Но популярность к квантовым компьютерам пришла годом позже, после того как на эту проблему обратил внимание выдающийся американский физик, Нобелевский лауреат Р. Фейнман.

В дальнейшем ученые заинтересовались так называемыми *квантовыми симуляторами* – искусственно созданными квантово-механическими системами, которые могут быть использованы для моделирования физических явлений в более сложных системах. Сами же квантовые компьютеры нужны для решения математических задач, относящихся к категории невычислимых, для которых увеличение объема входных данных ведет к экспоненциальному росту числа операций на классическом компьютере.

Следует отметить, что квантовые компьютеры вовсе не должны заменить обычные компьютеры. Как, например, появление лазеров не привело к исчезновению обычных источников света, – благодаря лазерной технологии появилась возможность решения новых специфических задач. И хотя эффективность квантовых алгоритмов можно продемонстрировать на примере таких задач, как факторизация больших чисел, намного более важным может оказаться применение квантовых компьютеров для моделирования физических явлений в сфере нано- и биотехнологий.



БЕТЕВОВ Илья Игоревич – кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник лаборатории нелинейных резонансных процессов и лазерной диагностики Института физики полупроводников СО РАН (Новосибирск). Автор и соавтор более 30 научных работ

Ключевые слова: квантовый компьютер, ридберговские атомы.
Key words: quantum informatics, Rydberg atoms

Журнал «Наука из первых рук» за 2014 год, номер 3-4 опубликована статья о современных научных разработках Института физики полупроводников им. А. В. Ржанова СО РАН.

«Клетка» ДЛЯ КЛЕТОК

Ученые из Института химической биологии и фундаментальной медицины СО РАН и Института физики полупроводников им. В.А. Ржанова СО РАН (Новосибирск) разработали новый метод выделения редких популяций клеток из крови и других биологических образцов, основанный на использовании микроканальных кремниевых матриц

Методом, позволяющим быстро и незатратно выделить популяции жизнеспособных клеток из тканей и биологических жидкостей, востребованы в областях клеточной биологии, иммунологии и онкологии. Особый интерес они представляют для малоинвазивной медицинской диагностики, в частности, для выделения из крови таких редких циркулирующих клеток, как клетки опухолей у онкобольных или клетки плода у беременных женщин. Цитогенетический анализ хромосом таких клеток позволяет не только получать информацию о причинах онкотрансформации клеток и детектировать патологии развития плода, но и получать принципиально новые диагностические данные (например, о метастатическом потенциале, генетическом профиле и лекарственной устойчивости раковых клеток).

В обычных клеточных сортерах клетки поодиночке проходят через измерительное окно, где детектируется свечение флуоресценции, а затем клетки сортируют на основе этих данных. В последнее время для клеточной сортировки все чаще предлагаются использовать микрофлюидные устройства. Такие приборы, изготовленные, как правило, способом фотолитографии, представляют собой структуру с системой микроканалов, устройством для подачи и контроля расхода жидкостей и клеточным детектором.

Новые технологии обработки кремниевых материалов, применяемые в микроэлектронике, позволяют сегодня получать принципиально новые пористые структуры – микроканальные кремниевые матрицы (МКМ), которые можно использовать как уникальные мембраны в исследованиях в области современной молекулярной и клеточной биологии.

Технология получения МКМ позволяет с высочайшей точностью контролировать пористость, форму и размеры стенок сквозных микроканалов (период ячейки 4–30 мкм), а также их длину (от десятков

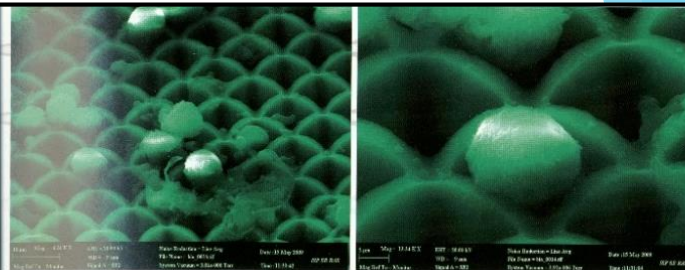
Ключевые слова: клеточная сортировка, минорные популяции клеток, микроканальные кремниевые матрицы
Key words: cell separation, minor cell population, silicon microchannel matrix

до сотен мкм). Поверхность таких матриц, состоящая из оксид кремния, дает возможность иммобилизовать на стенках микроканалов специфические лиганды – вещества, играющие роль своеобразных «якорей». Прочные устройства на основе наборов МКМ с разными структурными характеристиками позволяют выделять из гетерогенных клеточных пулов редкие клетки-мишени, представляющие интерес для исследования в медицинской диагностике.

В ИФП СО РАН созданы микрофлюидные системы на основе микроканальных кремниевых матриц и подобраны оптимальные гидродинамические условия сортировки клеток. МКМ изготавливаются по разработанной в институте уникальной технологии, основанной на анизотропном травлении пластин из монокристаллического кремния. Такой способ изготовления позволяет получать по всей площади матрицы сквозные каналы одинакового сечения и с параллельными стенками, имеющими высокий класс чистоты поверхности. Матрицы отличаются высокой степенью пористости, а в силу особенностей процесса изготовления каналы расширяются по направлению к изходной поверхности, что дополнительно увеличивает ее пористость и уменьшает сопротивление потоку жидкостей.

По опытным данным при скорости потока в 20 мл/мин (через матрицу диаметром 8 мм) в канале МКМ формируется ламинарный неравномерный поток благодаря чему клетки испытывают минимальный «стресс». С другой стороны, при такой скорости поток клеток размером 2 мкм по крайней мере один раз сталкивается со стенками канала и могут взаимодействовать с адсорбированными там лигандами к клеточным рецепторам.

Экспериментальная оценка гидродинамических условий протекания клеточной суспензии через МКМ показала, что основное сопротивление потоку оказывает не сама матрица, а канальцы, через которые проходят клетки. Выяснилось, что перепад давления в 30 м водного столба оптимален для их размер-селективного разделения, т.е. клетки, диаметр которых не намного больше эффективного радиуса канала, не проходят



Онкотрансформированные клетки HeLa на поверхности микроканальной матрицы с периодом ячейки 10×10 мкм. Сканирующая электронная микроскопия. ЦКП «Наноструктуры» при ИФП СО РАН им. В.А. Ржанова

тот же канал, а остаются над ней. Такие условия сортировки не влияют на целостность клеточных мембран и общую жизнеспособность клеток.

Удивительной особенностью МКМ оказалась их способность «фильтровать» чужую кровь, представляющую собой «фильтрат», являющийся составной частью клеточного материала, который крайне трудно пропустить даже через поры, намного превышающие размер обычного эритроцита диаметром около 7 мкм. Таким образом, параллельность и «гладкость» стенок, а также высокая пористость поверхности МКМ делают эти структуры уникальными клеточными фильтрами.

С помощью микроканальных матриц клетки можно разделять по двум характерным признакам: размеру и строению поверхности. Например, раковые клетки имеют другое происхождение, как правило, больше по размеру клеток крови. Кроме того, эти клетки и циркулирующие в материнской крови мелкие плодные клетки несут на своей поверхности мелкие плодные белки-рецепторы, отсутствующие на поверхности нормальных клеток крови. Зафиксировав на поверхности каналов МКМ специфические антитела к таким рецепторам, можно «закорить» нужные клетки в каналах матрицы, и, после отмывки, собрать их.

Чтобы присоединить антитела к матрице, ее поверхность нужно функционализировать – внести химически активные или маркер-специфичные группировки. В ИХБФМ СО РАН были разработаны методы функционализации поверхности МКМ, а также определены условия ковалентного присоединения антител к поверхности матрицы.

Для оценки эффективности работы подобных структур было проведено исследование по выделению циркулирующих раковых клеток из крови больных раком

молочной железы (наличие их является признаком возможного метастазирования), а также эмбриональных клеток из крови матери. С помощью МКМ из крови 5 из 7 больных раком молочной железы на поздней стадии были выделены циркулирующие клетки опухолей. В крови беременных (на 6–7 месяце) плодные клетки были обнаружены лишь в 3-х образцах из 8. Вероятно, что высокая эффективность выделения раковых клеток связана с тем, что они «фиксировались» на матрице не только при помощи антител, но и за счет большого размера, а эффективность выделения мелких плодных клеток определялась только качеством используемых коммерческих антител.

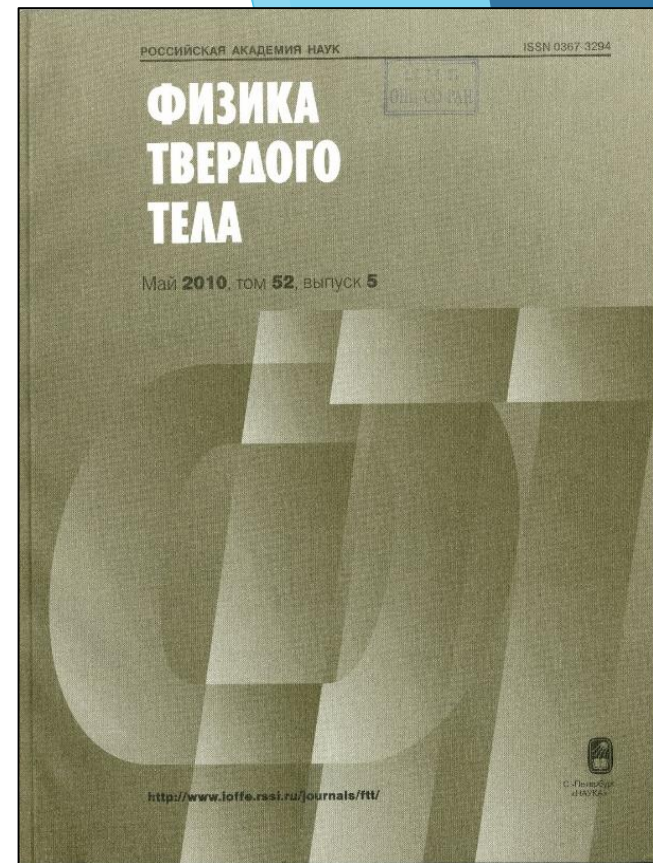
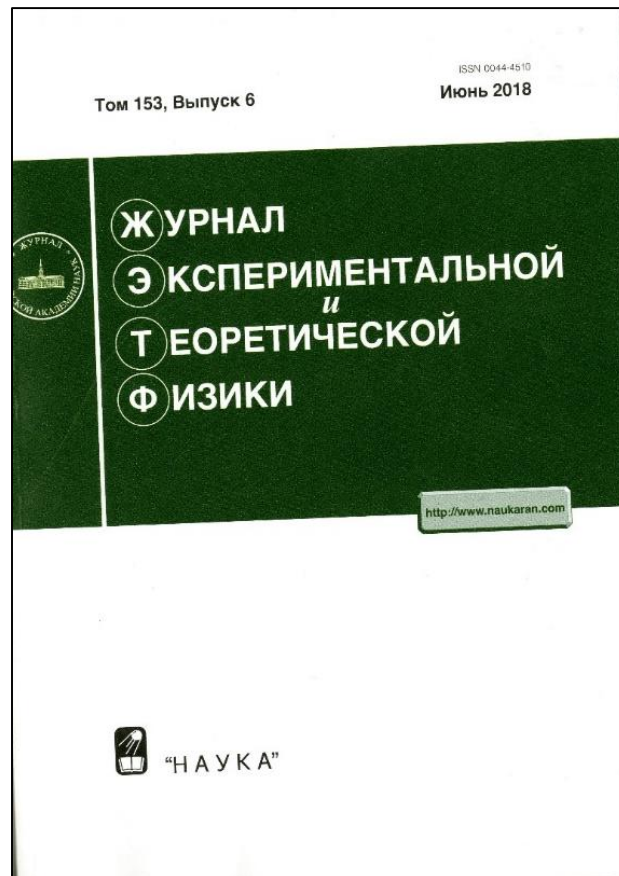
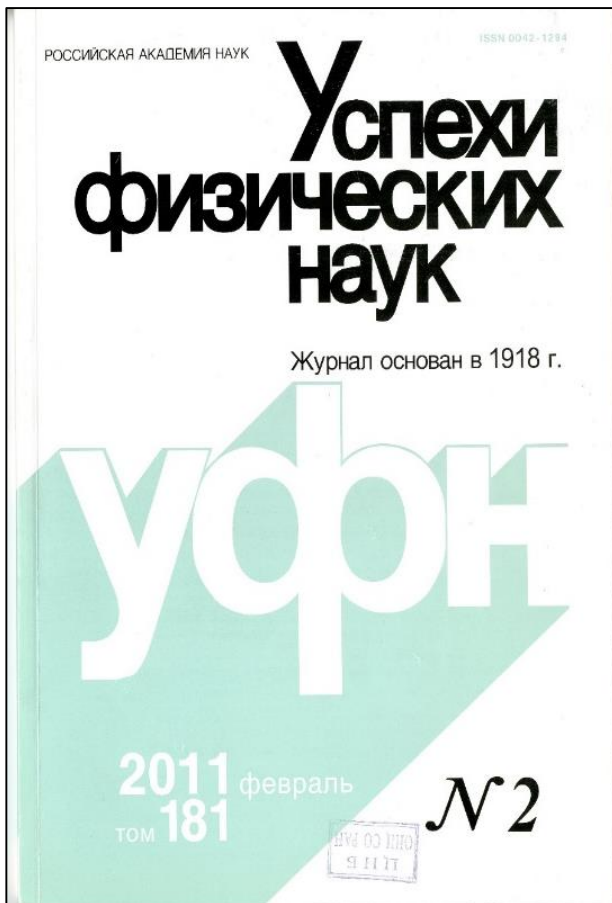
Тем не менее, эти результаты демонстрируют, что устройства на основе МКМ могут быть использованы для клеточной сортировки. Этот метод, не требующий специального дорогостоящего оборудования, в перспективе должен найти применение в практической медицинской диагностике.

Литература

- Nagrath S., Sequist L.V., Maheswaran S. et al. Isolation of rare circulating tumour cells in cancer patients by microchip technology | *Natur.* 2007. V. 450. P. 1235–1239.
Романов С.И., Пышный Д.В., Вандышева Н.В. и др. Кремниевая микроканальная матрица для биологических технологий // *Нано- и микросистемная техника.* 2007. № 9. С. 55–61.

К.б.н. П.П. Лактионов, к.х.н. Д.В. Пышный (ИХБФМ СО РАН, Новосибирск), к.ф.-м.н. С.И. Романов (ИФП СО РАН, Новосибирск)

Журнал «Наука из первых рук» за 2010 г., номер 2, публикует статью о современных научных разработках Института физики полупроводников им. А. В. Ржанова СО РАН.



Научные журналы по физике, где публикуются статьи о последних достижениях в этой области знаний.