

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
СИБИРСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ
ИНСТИТУТ ФИЗИКИ им. Л. В. КИРЕНСКОГО

УТВЕРЖДАЮ

Директор Института физики
им. Л. В. Киренского СО РАН
академик

К. С. Александров

ОТЧЕТ

**о важнейших результатах фундаментальных исследований
Института физики им. Л. В. Киренского
в 1997 г.**

Красноярск 1997

Предложена модель, описывающая в гармоническом приближении реальные частично неоднородные (квазипериодические) мультислойные структуры. Рассмотрена одномерная сверхрешетка с гармонической зависимостью её физических параметров от координаты, период которой имеет одно-, двух- и трёхмерную случайную модуляцию. Выведена корреляционная функция такой сверхрешетки для неоднородностей в расположении границ между слоями (одномерная стохастическая модуляция), деформации поверхностей этих границ (двумерная модуляция) и одновременного присутствия обоих типов неоднородностей (трёхмерная модуляция). Корреляционная функция является произведением периодической и аperiodической (спадающей) частей. Показано, что закон спада корреляций существенно зависит от размерности для коротковолновых неоднородностей, а для длинноволновых неоднородностей является гауссовским независимо от их размерности.

Полагая отличия физических характеристик соседних слоев малыми, исследованы спектр и затухание спиновых, упругих и электромагнитных волн в приближении слабой связи. Показано, что характер перестройки спектра и величина затухания усредненных волн на краю субзоны Бриллюэна существенно зависят от размерности неоднородностей, их интенсивности и характерного размера (корреляционного радиуса стохастической модуляции периода сверхрешетки).

Результаты опубликованы:

Ignatchenko V. A., Mankov Yu. I. *Phys. Rev. B*, **56**, 194, 1997.

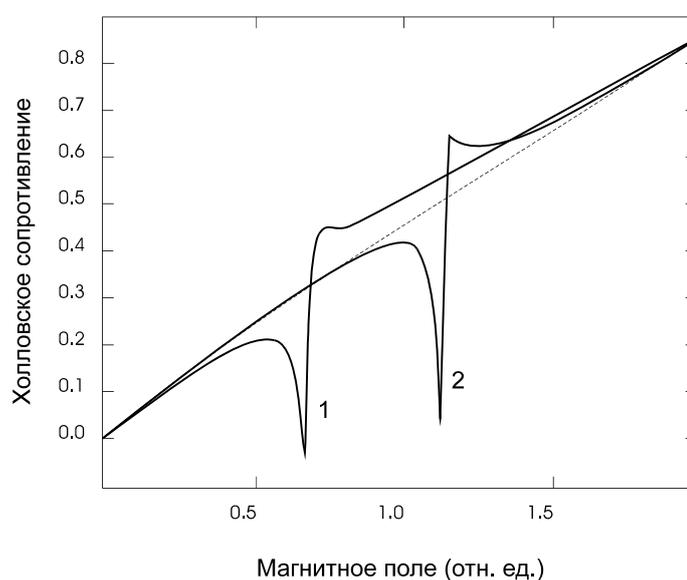
Представлены в виде приглашенного доклада В. А. Игнатченко на NATO Advanced Study Institute: *Frontiers in Magnetism of Reduced Dimension Systems* Partenit, Crimea, Ukraine, 1997.

Работа выполнена в рамках Программы СО РАН “Разработка физических основ создания твердотельных устройств электроники”, NATO Linkage Grant No HTECH 960919.

Проблема распространения квантовых частиц через двумерные полупроводниковые наноструктуры со сложной геометрией изучается в последние годы чрезвычайно интенсивно. Актуальность проблемы обусловлена тем, что появилась возможность изготавливать подобные структуры и исследовать их экспериментально. Наиболее значимая с практической точки зрения задача - это управление транспортными характеристиками наноструктур, находящихся под воздействием как статических полей (электрического и магнитного), так и переменного электромагнитного поля.

В Институте физики выполнено теоретическое изучение аномалий холловского сопротивления, обусловленного резонансным динамическим взаимодействием электронов со связанными состояниями четырехтерминального наноструктура.

Суть обнаруженного при этом явления заключается в том, что связанные состояния, которые в обычных условиях не оказывают влияние на транспортные свойства наноструктуры, находясь под воздействием резонансного переменного электромагнитного поля, начинают примешиваться к транспортным решениям. В результате коэффициент прохождения, в зависимости от условий, либо резко возрастает либо подавляется. При точной настройке устройств резонанс должна наблюдаться резкая аномалия холловского сопротивления.



Конкретно для наноструктура, рассмотренного в работе, наблюдается резкое падение холловского сопротивления при определенных значениях магнитного поля. По положению и характеру аномалии можно сделать заключение о наличии и положении резонансного уровня, а также судить об интенсивности переменного поля, что является несомненно важным моментом для практического использования обнаруженного явления.

Результаты опубликованы:

Bulgakov E. N. and Sadreev A.F., *Письма ЖЭТФ*, **66**, 403, 1997.

Работа выполнена в рамках Программы СО РАН "Разработка физических основ создания твердотельных устройств электроники", гранта РФФИ № 96-02-16072.

Теоретически и экспериментально изучены новые эффекты квантовых осцилляций в сильном квантующем магнитном поле в вырожденных полупроводниках. Теоретически предсказаны осцилляции намагниченности как функции температуры вследствие нефермижидкостных свойств электронной системы, обусловленных сильными электронными корреляциями в магнитных $d(f)$ -ионах. Экспериментально обнаружены неперидические осцилляции намагниченности и сопротивления монокристаллов HgCr_2Se_4 n -типа как функции магнитного поля и температуры. В многоэлектронной модели магнитных полупроводников с учетом квантования Ландау построена теория, качественно описывающая наблюдаемые осцилляции намагниченности и сопротивления.

Рассмотрение эффекта де Гааза-ван Альфена в проводящих сильнокоррелированных антиферромагнетиках позволило описать резкую смену периода осцилляций в окрестности спин-флип перехода, экспериментально наблюдаемую в тяжелофермионном антиферромагнетике CeCu_2Si_2 .

Результаты опубликованы в работах:

- 1). Вальков В. В., Овчинников С. Г., *ФТТ*, **23**, 3492, 1981.
- 2). Овчинников С. Г., Чернов В. К., Балаев А. Д., и др., *Письма в ЖЭТФ*, **64**, 620, 1995.
- 3). Балаев А. Д., Вальков В. В., Гавричков В. А. и др. *УФН*, **167**, 1016, 1997.
- 4). Вальков В. В., Дзедзисашвили Д. М., *ЖЭТФ*, **111**, 654, 1997.
- 5). Вальков В. В., Дзедзисашвили Д. М., *ФТТ*, **39**, 204, 1997.

Работа выполнена в рамках Программы СО РАН “Разработка физических основ создания твердотельных устройств электроники”, гранта РФФИ № 97-03-33684.

Получены экспериментальные образцы магнитооптических дисков новой конструкции и состава активного слоя, на неразмеченной основе. Диски выполнены с использованием мультислойной технологии с прослойками из GeO. Проведено исследование основных физико-технических и эксплуатационных технических параметров; установлено, что они значительно превосходят ранее полученные значения соответствующих характеристик. По результатам оформлена заявка на изобретение. Работа проводится совместно с ИА и ЭМ СО РАН.

Работа включена в план совместных работ с ИА и ЭМ СО РАН на 1998 г.

Разработана, изготовлена и запущена в работу 3-х канальная система автоматического напыления многослойных (в том числе и пространственно-модулированных мультислойных) пленочных структур различных материалов. Система может быть использована в любых вакуумных напылительных установках.

ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

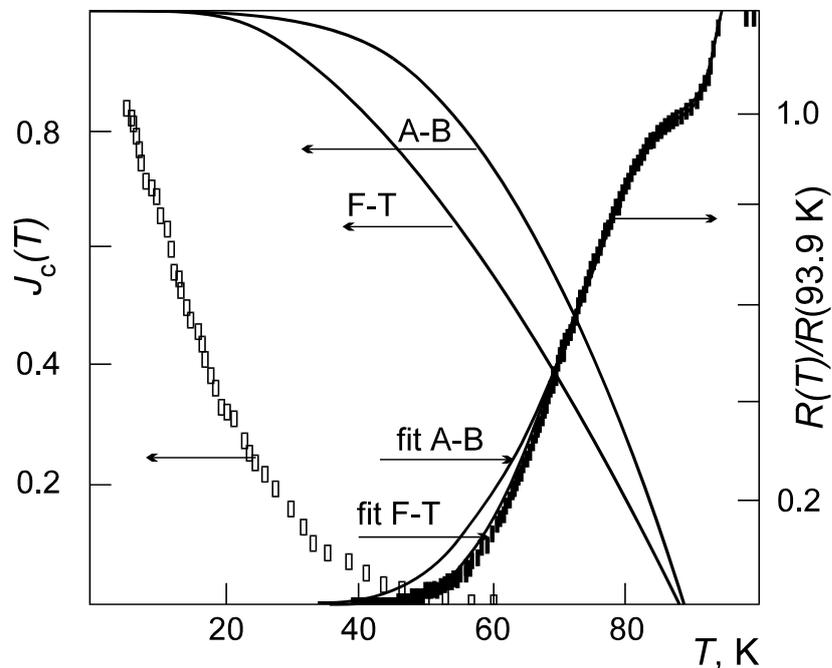
Количество независимых каналов	3
Минимальная толщина напыляемых слоев (по массе)	0,1 А
Максимальная толщина напыляемых слоев в автоматическом режиме	$5 \cdot 10^3$ А
Максимальная толщина напыляемых слоев в полуавтоматическом режиме	$7 \cdot 10^4$
Максимальное количество слоев при работе всех каналов	$3 \cdot 10^4$
Программирование каждого канала (по толщине слоев, количеству и порядку следования)	произвольное и независимое
Время срабатывания исполнительных манипуляторов	50 мс
После выполнения заданной программы процесс напыления автоматически прекращается	-

Результаты опубликованы:

1. Полякова К. П., Середкин В. А., Лепешев А. А., Поляков В. В., Павлов В. Ф. Неорганические материалы, № 11, 1997.
2. Polyakova K. P., Seredkin V. A., Polyakov V. V., Lepeshev A. A. in "Optical Information Science and Technology", ed. by A. L. Mikaelian. Proc. SPIE, E-6, 1997.

Работа выполнена в рамках задания Государственной научно-технической программы "Перспективные информационные технологии", Программы СО РАН "Разработка физических основ создания твердотельных устройств электроники".

Выполнены экспериментальные измерения температурной зависимости критического тока и электросопротивления в композитах высокотемпературный сверхпроводник – CuO, моделирующих искусственно созданную сеть слабых связей джозефсоновского типа. Установлено, что в них реализуется механизм термоактивационного проскальзывания фазы волновой функции сверхпроводящего конденсата. На рисунке: точки – эксперимент, сплошные кривые – расчет в приближениях Амбегаокара-Баратова (АВ) и Фурусакки-Цукады (FT). Хорошее совпадение эксперимента с модельным расчетом свидетельствует в пользу применимости теории БКШ, на основе которой построены эти модели.



Результаты опубликованы:

1. Петров М. И., Балаев Д. А., Шайхутдинов К. А., Хрусталеv Б. П. *ФТТ*, **39**, 1956, 1997.
2. Petrov M. I., Balaev D. A., Shaihutdinov K. A., Khrustalev B. P., Aleksandrov K. S. *Physics C*, **282-287**, 2453, 1997.

Работа выполнена в рамках Программы СО РАН “Разработка физических основ создания твердотельных устройств электроники”.

Методами магнитного резонанса, ЯГР-спектроскопии и рентенофазного анализа изучены структурные особенности стеклообразных и стеклокристаллических пеноматериалов на основе кремне-кальций-кислородной матрицы, полученных при термической переработке зол бурых углей. Установлены типы координации ионов Fe^{3+} , Mn^{2+} и Ti^{3+} , а также корреляция между изменением валентности титана и количеством октаэдрически координированного марганца.

Изучены физические свойства полученных высокопористых пеноматериалов на микро- и макроуровнях. Обнаружено активное поглощение фтора и его агрессивных соединений. Установлено, что механизмом сорбирования является образование устойчивых химических соединений фтора с элементами матрицы, сопровождающееся разрушением исходной аморфной матрицы и ростом кристаллической фазы. Инициаторами кристаллизации служат ионы марганца и железа. Сорбционная способность пеноматериала снижается при увеличении содержания алюминия, а также в присутствии суперпарамагнитной фракции железа.

Выработаны рекомендации по практическому применению изученных материалов, в том числе для решения экологических задач.

Результаты опубликованы:

1. Кухлевский О. П., Зеер Э. П., Кашкина Л. В., Петраковская Э. А. Сорбция фтористого водорода продуктами термической переработки угольных зол. Неорганические материалы, 33, 1345 (1997).
2. Зеер Э. П., Петраковская Э. А., Кухлевский О. П., Павлов В. Ф., Шабанов В. Ф. Поглотитель фтора и его агрессивных соединений. Заявка на патент № 97107111 от 30 апреля 1997.

Работа выполнена в рамках Программы СО РАН “Разработка физических основ создания твердотельных устройств электроники”.

Систематизировано большое количество экспериментальных данных об основных вариантах структур перовскитоподобных кристаллов. Рассмотрены перовскиты, их политипы, анион- и катиондефицитные соединения и семейства слоистых кристаллов, содержащие в структурах перовскитные пакеты и промежуточные блоки разных типов.

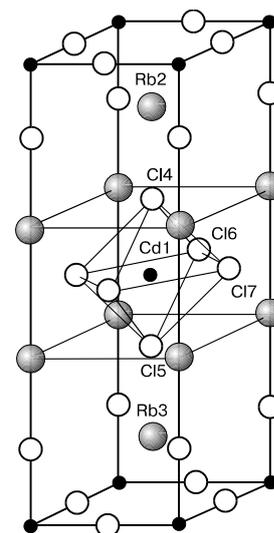
Все многообразие известных структур представлено в виде комбинаций прорастания четырех серий пакетов, состоящих из слоев октаэдров, пирамид, квадратов с двадцатью вариантами промежуточных блоков. В результате проведенного анализа удалось обнаружить порядка 15 неисследованных систем, где возможно конструирование новых типов структур и синтез новых кристаллов.

Построены иерархия и схемы взаимосвязей между типами структур. Приведены результаты кристаллографического анализа возможных ротационных искажений, сопровождающих переходы в кристаллах с кубическими и тетрагональными исходными фазами.

Результаты опубликованы:

1. Александров К.С., Безносиков Б.В. Перовскитоподобные кристаллы (Иерархия структур, многообразие физических свойств, возможности синтеза новых соединений). Новосибирск.: Наука, 1997. — 216 с.
2. Александров К. С., Безносиков Б. В. *Кристаллография*, **42**, 613, 1997.
3. Александров К. С., Безносиков Б. В. *ФТТ*, **39**, 785, 1997.

Работа выполнена в рамках Программы СО РАН “Разработка физических основ создания твердотельных устройств электроники”, грантов РФФИ №№ 96-02-16542, 97-02-16277, частично – гранта Int. Center Diffraction Data, # 92-07.



Структура слоистого перовскита Rb_2CdCl_4 , использованная при анализе.

В рамках совместных работ с Институтом математики СО РАН и Институтом автоматизации и электротехники СО РАН по интеграционному гранту Сибирского отделения РАН (проект “Нанодинамика”) выполнены исследования структуры и динамики твердых тел, обладающих неоднородностями структуры нанометрового диапазона: несоизмерных и ориентационно неупорядоченных кристаллов.

В слоистых кристаллах с общей формулой $A_3B_2X_9$ (A – щелочной металл; $B = Fe, As, Sb, Bi, Tl, Cr, W, Mo$; $X = Cl, Br, I$) проведены исследования последовательностей фазовых переходов, включающих несоизмерные фазы ранее неизвестного типа.

Методом ЯКР впервые обнаружена несоизмерная фаза в кристалле $Cs_3Bi_2I_9$. Исследования методом рентгеновской дифракции показали, что ее появление связано с переходом в центре зоны Бриллюэна с изменением симметрии $R6_3/mmc$ – $P2_1/m$. В этом случае, как показал теоретико-групповой анализ, вблизи центра зоны разрешено взаимодействие оптической колебательной моды с акустической ветвью. Однако характер этого взаимодействия требует специального исследования, так как поведение измеренных макроскопических параметров (например, упругости) вблизи точки перехода трудно согласовать с известной моделью Аслания-Леванюка для фазовых переходов этого типа.

Методами ЯКР и калориметрии обнаружена последовательность новых фаз в другом представителе того же семейства – $Cs_3Sb_2I_9$. Исследовано поведение компонент тензора упругости и линейного расширения вблизи перехода из исходной гексагональной фазы. Согласно полученным данным рентгеновской дифракции от монокристаллических образцов, этот переход, в отличие от предыдущего кристалла, осуществляется между периодическими структурами на границе зоны Бриллюэна. Однако ниже 60 К обнаружено отклонение положения соответствующих сателлитов от рационального значения $(1/2)$ и появление модуляции структуры с более длинным периодом вдоль второго направления. Аперриодичность кристаллической структуры такого типа ранее не наблюдалась.

Выполнено экспериментальное исследование и численное моделирование колебательного спектра кристалла Rb_2ZnCl_4 , где наблюдается сочетание несоизмерной модуляции и ориентационного разупорядочения структуры. Установлено, что ориентационный беспорядок структуры, слабо влияя на динамику кристаллической решетки, одновременно значительно модифицирует локальные значения поляризуемостей структурных единиц кристалла, что проявляется в оптических колебательных спектрах в перераспределении интенсивностей и появлении дополнительных линий, запрещенных симметрией упорядоченной структуры.

Результаты опубликованы:

1. Александрова И. П., Бовина А. Ф., Агеев О. А., Суховский А. А. *ФТТ*, **39**, 1105, 1997.
2. Александрова И. П., Суховский А. А., Мелеро Х. Х., Бартоломе Х., Мельникова С. В., Шабанова Л. И., Зайцев А. И. *ФТТ*, **39**, 946, 1997.
3. Vtyurin A. N., Ageev A. G., Krylov A. S., Shmygol I. V. *Ferroelectrics*, 1998, accepted for publication.

Работа выполнена в рамках Программы СО РАН “Разработка физических основ создания твердотельных устройств электроники”, грантов РФФИ №№ 96-15-96700, 97-02-18024, интеграционного гранта СО РАН, проект “Нанодинамика”.

Впервые обнаружено проявление двухфотонного фотоэффекта в сверхслабых оптических полях с интенсивностью порядка солнечной (10^{-3} Вт/см²). Явление интерпретировано эффектами локального поля, присущего фрактальным наноструктурам, и наблюдалось при исследовании процесса фотостимулированной агрегации коллоидов серебра.

Ранее в институте были получены данные в пользу фотоэмиссионной природы механизмов фотоагрегации. В зависимости скорости фотоагрегации от длины волны облучающего света - $A(\lambda)$ в диапазоне 360-1050 нм (рис.1) выявлена красная граница этого процесса, который прекращается при $\lambda > \lambda_a = 1050$ нм. Кроме того, в полученной зависимости обнаруживается глубокий промежуточный минимум, что позволяет выделить в ней две части: первая соответствует диапазону однофотонного фотоэффекта (ОФФ) 360–550 нм (I), вторая – 550–1050 нм (II). По нашим представлениям фотоагрегация в диапазоне 550–1050 нм может быть связана с проявлением двухфотонного фотоэффекта (ДФФ).

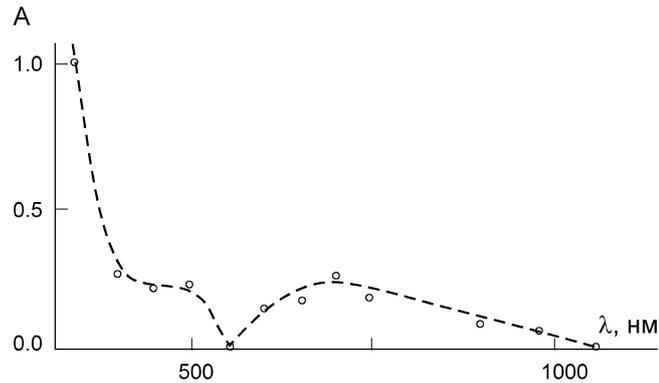


Рис.1. Зависимость скорости фотостимулированной агрегации в гидрозоле серебра от длины волны облучающего света $A(\lambda)$ в диапазоне 360–1050 нм (относительная погрешность 15 %). Время облучения 9,5 часов, $I = 3$ мВт/см².

С целью окончательной идентификации порядка процесса фотоэмиссии в диапазонах (I) и (II) экспериментально исследовалась зависимость скорости фотоагрегации в идентичных образцах типичного гидрозоля серебра от интенсивности облучающего света $A(I)$ при равных временах экспозиции. При этом в одном случае длина волны облучающего света лежала в диапазоне I ($\lambda_1 = 450$ нм), в другом – в II ($\lambda_2 = 700$ нм). В соответствии с теорией, плотность тока ОФФ $j_1 \cong I$, а плотность тока ДФФ $j_2 \cong I^2$. Как видно из рис.2 а,б, экспериментальные кривые $A(I)$, полученные в этих диапазонах, близки к линейной – $A \cong I$ (в диапазоне I) и квадратичной – $A \cong I^2$ (в диапазоне II) зависимостям.

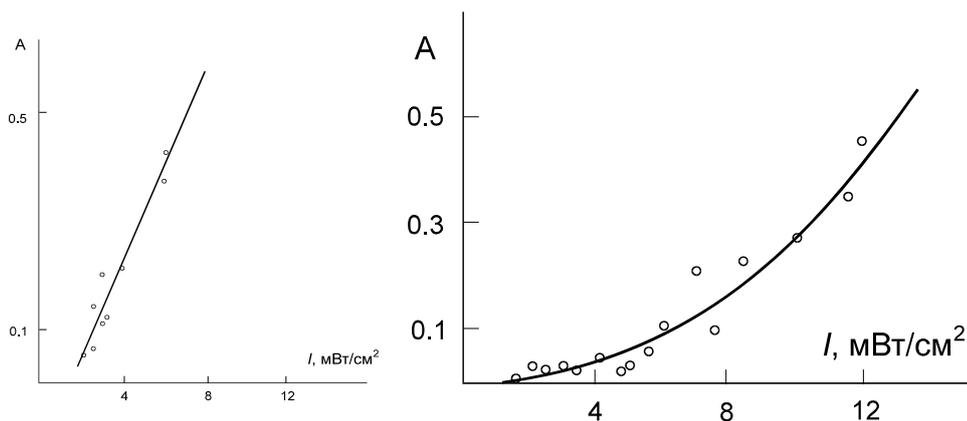


Рис.2. Слева – зависимость скорости фотостимулированной агрегации в гидрозоле серебра от интенсивности облучающего света $A(I)$ на длине волны $\lambda = 450$ нм при равных временах экспозиции (2 часа). Справа – та же зависимость, полученная на длине волны $\lambda = 700$ нм при равных временах экспозиции (4 часа).

Приведённые экспериментальные зависимости доказывают сделанный вывод.