

**ОТЗЫВ**

на автореферат диссертации **ИОНОВА Сергея Геннадьевича**  
**«Электронный транспорт и физико-химические свойства интеркалированных соединений графита и углеродных материалов на их основе»**,  
представленной на соискание ученой степени доктора физико-математических наук  
по специальности:

**01.04.07 – физика конденсированного состояния;**

**Актуальность темы** диссертационной работы ИОНОВА С.Г. связана с решением проблемы получения новых наноструктурных материалов на основе терморасширенного графита, интеркалированных соединений графита, углерод-углеродных композитов с заданными физико-химическими, электронными и конкретными функциональными характеристиками и созданием функциональных наноматериалов на их основе. Фундаментальная актуальность темы также базируется на перспективности изучения электронных свойств низкоразмерных (двумерных) систем.

**Цель работы** состояла в установлении соответствий между параметрами исходных материалов (графита) и электрофизическими, механическими, физико-химическими свойствами полученных материалов. Особое внимание уделялось электронной зонной структуре и макроскопическим свойствам проводимости; специальным фазовым переходам типа двумерного плавления.

Достоинством работы является подробное изучение кристаллической структуры, зонной структуры и электропроводности графитовых материалов и влияния на них интеркалирования между графеновыми слоями большого количества различных классов неорганических соединений, с установлением закономерностей такого влияния. Фактически создано новое научное направление – исследования электронного спектра интеркалированных соединений графита. Также изучены характеристики композитных материалов с ТРГ, что представляет несомненный практический, и значительный теоретический интерес в связи с не разработанностью перколяционной теории для частиц с большим латеральным соотношением (вытянутых в двух измерениях)



Представленные в автореферате результаты имеют несомненную научную новизну и выполнены лично автором диссертации.

**Научная новизна** работы состоит в следующем:

- Исследованы гальваномагнитные и квантовые осцилляционные эффекты на широком классе интеркалированных соединений графита и определены параметры энергетического спектра (зонной структуры) и концентрации и подвижности носителей.
- Определена природа носителей заряда, и установлена эмпирическая закономерность связи природы носителей со степенью внедрения и природой интеркалянта.
- Разработан метод синтеза и синтезированы квазимонокристаллы гетероинтеркалированных соединений графита, у которых исследован дырочный энергетический спектр.
- Исследованы структурный и типа двумерного плавления фазовые переходы в отдельных интеркалированных соединениях графита под давлением и при изменении температуры, изменения в энергетическом спектре и электропроводности.
- Исследована зависимость электропроводности интеркалированных соединений графита от марки исходного графита, условий синтеза, структуры, состава, параметров носителей заряда. На основе полученных данных предложена **новая** модель электропроводности интеркалированных соединений графита вдоль тригональной оси за счёт винтовых дислокаций, естественно объясняющая все особенности поведения этого параметра, в том числе наличие высокой трансляционной подвижности в условиях долины свободного пробега, меньшей длины волны дырки.
- Проведено комплексное исследование механизма реакций интеркалирования.
- Исследованы гальваномагнитные эффекты в графитовой фольге, показано, что они хорошо описываются теорией квантовых поправок для двумерной геометрии за диффузионным пределом. Определено, что в фольгах присутствуют оба типа носителей, рассчитаны их подвижность и концентрация в зависимости от степени дефектности.
- Установлены параметры интеркалированных соединений графита, используемых для изготовления графитовой фольги, на её прочность. Обнаружено, что с



помощью незначительного пироуплотнения фольги можно значительно улучшить такие её параметры, как прочность, газопроницаемость, химическую и термостойкость.

- Исследованы композитные материалы на основе ТРГ с изолятором, показано, что порог протекания в таких системах в 20 раз меньше, чем при использовании невытянутых графитовых частиц, определены критические индексы протекания.

**Практическая значимость** работы определяется использованием её результатов для создания промышленной технологии производства широкой гаммы графитовых наноматериалов, кроме того результаты могут быть использованы для синтеза квазимонокристаллов и синтетических металлов на основе интеркалированных соединений графита, получения углеродных материалов с заданными функциональными свойствами, создания изделий из углеродных наноматериалов, в исследовательской работе могут быть использованы разработанные в диссертационной работе методики и установки.

Результаты работы также используются в курсах лекций «Введение в специальность» и «Химия и физика твёрдого тела в современном материаловедении» для студентов старших курсов химического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова.

Однако к автору имеются несколько вопросов и пожеланий. В частности, на стр.22 автореферата сделан не очень доказательный вывод, что «Полученная куполообразная зависимость электропроводности от номера ступени, концентрации носителей заряда подобна зависимости критической температуры высокотемпературных сверхпроводников от количества плоскостей  $\text{CuO}_2$  и формальной степени окисления меди (концентрация дырок)»

Такое утверждение требует серьёзных доказательств, а не только некоторой схожести зависимостей, особенно в свете заключения на стр.23: «Высокая электропроводность этих соединений связана...с достаточно слабым электрон-фононным взаимодействием»: для сверхпроводимости, напротив, нужно сильное электрон-фононное взаимодействие, да и зависимость электропроводности от концентрации носителей заряда (в отличие от критической температуры сверхпроводника) – очевидна.

К оформлению работы также есть ряд замечаний:

1. Как известно, квантовые осцилляции (эффект Шубникова-де Гааза в частности) принято отображать в обратном магнитном поле, как  $R(1/B)$  или  $dR(1/B) / d(1/B)$ .



Принятые автором координаты R(B) не наглядны и вызывают затруднения и путаницу при чтении.

- Преимущество автореферата – автор сумел поместить в нём огромное количество экспериментальных данных, оборачивается его недостатком, сильно затрудняющим понимание рисунков. Они очень перегружены, и подписи к ним требуют от читателя значительных усилий при расшифровке. Например, подпись к рис.13: «Зависимости электропроводности ( $\sigma$ ), от объёмной концентрации ТРГ, природного графита ( $\phi$ ) в стеарине (а), в каменноугольном пеке (г), и теплопроводности (в), схема измерения сопротивления композита (б)» на самом деле означает, что на тех рисунках, где на оси абсцисс проставлено  $\phi, \%$  - т.е. рис. 13 (а) и (в) -показаны зависимости электропроводности (а) и теплопроводности (в) от объёмной концентрации природного графита в стеарине (а), в ГМК(нерасшифрованная аббревиатура)(а) и непонятно в чём (в). На рис.13 (г), где на оси абсцисс приведено обозначение «ТРГ, об%», показана зависимость отношения к электропроводности к неназванной величине  $\sigma_{1.7}$  от содержания ТРГ в каменноугольном пеке. Но указанная система обозначений, очевидно, не является неперменной, поскольку на рис.13 (д), где на оси абсцисс отложены величины  $\lg(\phi - \phi_c)$ , где  $\phi$  уже означает концентрацию ТРГ в пеке.
- Также можно отметить, что в тексте используются жаргонизмы, хотя и весьма употребительные (напр. «размягчение фононного спектра», стр. 21)

**Заключение:** Диссертационная работа С.Г. Ионова представляет собой законченное исследование, выполненное на высоком научном уровне, содержит важные фундаментальные научные и прикладные результаты. Автореферат достаточно подробное изложение материалов диссертации.

Согласно автореферату результаты исследований по теме диссертации опубликованы в ведущих журналах (59 статей , семь авторских свидетельств СССР, два международных патента и более 20 патентов РФ. Материалы диссертации неоднократно докладывались на всесоюзных, российских, международных конференциях. Поэтому достоверность основных результатов и выводов диссертации Ионова С.Г. не вызывает сомнения.

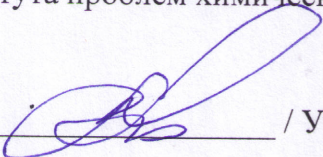
По своей актуальности, объёму, научной и практической значимости



диссертационная работа Ионова С.Г «**Электронный транспорт и физико-химические свойства интеркалированных соединений графита и углеродных материалов на их основе**» отвечает требованиям п. 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней» (утверждено постановлением Правительства РФ No 842 от 24.09.2013), предъявляемым к докторским диссертациям, а ее автор заслуживает присвоения ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.07-физика конденсированного состояния.

19 августа 2016 года

Доктор физико-математических наук,  
специальность 02.00.05-электрохимия.  
должность старший научный сотрудник  
Института проблем химической физики РАН

 / Укше А.Е./

Укше Александр Евгеньевич

Адрес : 142432, Московская обл., Черноголовка, пр-т. Академика Семёнова, 1

Тел: +7(49652)21657

E-mail: ukshe@icp.ac.ru

Доктор химических наук, профессор  
специальность 02.00.04- физическая химия.  
должность зав. лабораторией ионики твердого тела  
Института проблем химической физики РАН

 /Добровольский Ю.А./

Добровольский Юрий Анатольевич

Адрес: 142432, Московская обл., Черноголовка, пр-т. Академика Семёнова, 1

Тел: +7(49652)21657

E-mail: dobr@icp.ac.ru



СОБСТВЕННОРУЧНУЮ ПОДПИСЬ  
СОТРУДНИКА  
УДОСТОВЕРЯЮ  
ЗАВ.КАНЦЕЛЯРИЕЙ

*Укше А.Е.*  
*Добровольского Ю.А.*  
*[Signature]*