

## ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

*на диссертацию Левченко Егора Александровича*

*«Динамика молекул в тонкой плёнке  $C_{60}$  на поверхности  
полупроводников»,*

*представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 - физика конденсированного состояния.*

Приоритетным направлением современной науки является поиск путей миниатюризации устройств обработки и хранения информации. Одним из перспективных путей создания элементной базы нового поколения является использование одиночных молекул. В этом плане исследование свойств молекул фуллерена  $C_{60}$ , выполненное в диссертационной работе Е. А. Левченко, представляется весьма актуальным. Фуллерены, а также близкие им по составу и структуре соединения привлекают внимание ученых во всем мире, поскольку подобные исследования могут дать новый импульс развитию молекулярной электроники.

Считаю, что тема диссертации имеет как научный, так и практический интерес, она соответствует основным направлениям фундаментальных исследований по приоритетным направлениям науки, технологии и техники.

Диссертационная работа состоит из введения, шести глав, заключения и списка литературы из 91 наименования. В первой главе приведен обзор литературы, относящейся к теме исследования, представлены основные данные о структуре молекулы  $C_{60}$  и описаны перспективные варианты использования фуллерена. Основная часть диссертационной работы Е. А. Левченко посвящена экспериментальному исследованию молекул фуллерена  $C_{60}$  методами сканирующей туннельной микроскопии (СТМ) и сканирующей туннельной спектроскопии (СТС). Описание экспериментальной техники и методик

представлено во второй главе. Объектом исследования являлись монослойные пленки фуллерена, нанесенные на подложку  $\text{WO}_2/\text{W}(110)$ . Результаты СТМ исследования структуры такой подложки представлены в третьей главе. Автор показал, что некоторые особенности СТМ изображений поверхности  $\text{WO}_2/\text{W}(110)$  обусловлены локальными электронными свойствами, а не топографией поверхности. В четвертой главе исследована структура монослойной пленки  $\text{C}_{60}$ , нанесенной на  $\text{WO}_2/\text{W}(110)$ . Обнаружено наличие двух областей (доменов) различающихся ориентацией плёнки  $\text{C}_{60}$  относительно кристаллографических направлений подложки  $\text{WO}_2/\text{W}(110)$ . Обнаружены и исследованы особенности динамики молекул  $\text{C}_{60}$ , расположенных вблизи границы этих областей. В пятой главе рассмотрена динамика молекул  $\text{C}_{60}$  при температурах близких к температуре фазового вращательного перехода. Показано, что молекулы, имеющие большую амплитуду колебаний, расположены неравномерно по поверхности, образуя кластеры. В шестой главе представлены результаты, свидетельствующие о том, что в СТМ эксперименте может происходить переключение молекулы  $\text{C}_{60}$  между нейтральным и заряженным состоянием, причем такое переключение может сопровождаться изменением ориентации молекулы.

В целом диссертация производит очень хорошее впечатление. В работе всесторонне исследована структура монослойной пленки  $\text{C}_{60}$  на  $\text{WO}_2/\text{W}(110)$ . Диссертация является завершенной научной квалификационной работой. Материалы диссертации представлялись в нескольких докладах на международных конференциях, опубликованы в ведущих российских и международных журналах. Достоверность полученных результатов подтверждается тщательным анализом экспериментальных данных, сопоставлением их с результатами расчета и литературными данными по исследованию похожих структур. Научная новизна работы определяется тем, что впервые были обнаружены и исследованы несколько важных особенностей свойств молекул фуллерена в рассматриваемой структуре ( $\text{C}_{60}$  на  $\text{WO}_2/\text{W}(110)$ ).



С практической точки зрения, полученные результаты представляют несомненный интерес для развития молекулярной электроники. Особенно здесь хочется отметить данные по переключению зарядового состояния молекулы и «замораживанию» вращения молекул в области локальной деформации кристаллической структуры.

Следует отметить некоторые замечания по тексту диссертации:

1. Название диссертации не точно отображает ее содержание. В работе было проведено исследование молекул  $C_{60}$  на поверхности  $WO_2/W(110)$ , однако в названии указано: «... на поверхности полупроводников».
2. В литературном обзоре, представленном в первой главе, хотелось бы непосредственно в подписях к рисункам видеть ссылки на то, из каких работ были взяты использованные изображения. Кроме того, в данной главе желательно было бы привести характерные размеры: диаметр молекулы фуллерена  $C_{60}$ , расстояние между атомами углерода. В этой связи не понятна фраза на стр. 14, где со ссылкой на работу [32] говорится, что «толщина плёнки была – 80 нм, что составляет приблизительно 10 монослоёв фуллерена  $C_{60}$ ».
3. В выводах пятой главы говорится, что «...вблизи температуры вращательного фазового перехода проявляются корреляции либронных колебаний молекул, что приводит к образованию кластеров молекул обладающих большой амплитудой либронных колебаний». Мне кажется, что словосочетание «корреляция колебаний» ассоциируется, прежде всего, с определенной синхронизацией фаз колебаний. В данном же случае, речь, видимо, идет о корреляции амплитуд колебаний соседних молекул. Следовало бы точнее определить, что именно автор имел в виду.

Данные замечания не умаляют общей, безусловно, положительной оценки диссертационной работы Е.А. Левченко. Работа выполнена на высоком уровне. Полученные автором результаты являются новыми, обоснованными и достоверными. Диссертация грамотно написана и хорошо оформлена. Автореферат полно и правильно отражает основные результаты и выводы

работы и соответствует тексту диссертации.

Считаю, диссертационная работа Е.А. Левченко удовлетворяет требованиям Постановления Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. N842, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук, а ее автор, Левченко Егор Александрович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07- физика конденсированного состояния.

Кандидат физико-математических наук,  
старший научный сотрудник Фрязинского  
филиала Института радиотехники и  
электроники им. В.А. Котельникова РАН

30.05.2016



А. Г. Темирязов

Подпись А. Г. Темирязева заверяю

Ученый секретарь ФИРЭ им. В.А. Котельникова РАН

д.ф.-м.н.



Г. В. Чучева