

## О Т З Ы В

на автореферат диссертации Лебедева Сергея Павловича  
«Получение графена методом диссоциативного испарения (сублимации) поверхности SiC и исследование  
свойств структур графен/SiC», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-  
математических наук по специальности 01.04.10 – физика полупроводников.

Диссертационная работа Лебедева Сергея Павловича посвящена весьма важному направлению исследования разработки технологии получения пленок графена с использованием метода диссоциативного испарения поверхности SiC и созданию прототипов газовых и био-сенсоров на их основе.

Актуальность работы не вызывает сомнения и обусловлена характерными свойствами графена, например, оптической прозрачностью в широком спектральном диапазоне, высокой прочностью и теплопроводностью. Диссидентом выполнен большой объем исследований влияния различных технологических параметров роста (температура процесса, газовая среда, скорость изменения температуры, морфология и ориентация поверхности подложки карбида кремния). В результате с использованием как проводящих, так и полуизолирующих подложек 6Н и 4Н SiC были получены пленки графена с размером  $\sim 1 \text{ см}^2$  с высоким структурным совершенством. Лебедевым С.П. были проведены исследования транспортных свойств графена в магнитных полях от 0 до 30 Тл в температурном диапазоне 4.2–300К. В слабых магнитных полях (менее 1 Тл) и при температурах ниже 100К обнаружен эффект отрицательного магнетосопротивления графена, являющийся следствием слабой локализации. Впервые в структурах графен/SiC в магнетосопротивлении при повышении температуры наблюдался переход от слабой локализации к слабой антилокализации. В сильных магнитных полях наблюдалась выраженная картина осцилляций Шубникова – де-Гааза, которая демонстрирует четырехкратное вырождение спектра носителей вследствие двойного спинового и двойного долинного вырождений, а также проявление фазы Берри.

На основе полученных пленок были сформированы газовые сенсоры, которые показали рекордную для твердотельных сенсоров чувствительность к NO<sub>2</sub>. Были также изготовлены графеновые биосенсоры которые продемонстрировали чувствительность к концентрациям флуоресцина на уровне 0.001–0.01 нг/мл с временем детектирования порядка 100–120 сек. Подобные параметры открывают широкие возможности для применения графеновых биосенсоров на основе структур графен/SiC при ранней диагностике социально-значимых заболеваний человека, характеризующихся наличием в биологических жидкостях определенных биологических молекул с низкими концентрациями.

К работе имеется замечание, так в разделе 4.1 диссидент приводит теоретическую формулу для расчета толщины углеродной пленки. Далее следуют экспериментальные данные, соответствующие оптимальным технологическим условиям получения однородного монослоистого графенового покрытия поверхности SiC. Однако автор не приводит конкретные численные теоретические значений для полученных экспериментальных параметров температуры и давления. Было бы целесообразно сравнить теоретические расчеты и экспериментальные не только качественно, но и количественно.

Приведенное замечание не затрагивает существа работы и не влияют на ее общую положительную оценку. Основные защищаемые положения, научная новизна и выводы диссертационной работы не вызывают сомнения. Их достоверность обеспечивается использованием современных методов исследования, соответствием установленным закономерностям, имеющимся в литературных данных. Работа апробирована на международных, российских конференциях и в полной мере отражена в печати. Автореферат написан хорошим научным языком, дает полное представление о диссертационном исследовании.

Считаю, что работа «Получение графена методом диссоциативного испарения (сублимации) поверхности SiC и исследование свойств структур графен/SiC» отвечает требованиям ВАК РФ, предъявляемым к кандидатским диссертациям, в соответствии с П.9 «Положения о присуждении ученых степеней», а её автор, Лебедев Сергей Павлович, заслуживает присвоения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.10 – физика полупроводников.

Я, Захаров Павел Васильевич, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого», адрес: 19

Политехническая, 29, Россия.

Профессор кафедры физики, доктор физико-  
математических наук, доцент.

194021, ул. Хлопина 7 к4 кв. 132, г. Санкт-Петербург

тел. +7-923-648-06-74

e-mail: zakharovpv@rambler.ru

12.05.2021

Захаров Павел Васильевич