

ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Логинова Артема Борисовича «Формирование пленок двумерных материалов в процессе газофазного химического осаждения», представленной на соискание степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.8. Физика конденсированного состояния

Автореферат диссертации Логинова Артема Борисовича посвящен актуальной и весьма значимой задаче современной физики конденсированного состояния и нанотехнологий — разработке методов синтеза и исследованию свойств двумерных материалов, в частности дихалькогенидов переходных металлов MoS_2 и WS_2 , получаемых методами газофазного химического осаждения (ГФХО). Данное направление исследований сочетает в себе научную значимость, поскольку затрагивает фундаментальные механизмы роста атомарно тонких слоев, и прикладной потенциал, напрямую связанный с потребностями мировой микро- и нанoeлектроники.

Актуальность исследования. В последние годы внимание крупнейших мировых производителей электроники, таких как Intel, TSMC, IBM и ряда других компаний, сосредоточено на поиске материалов, способных заменить или дополнить кремний в транзисторных структурах. Кремниевая технология практически достигла физических пределов масштабирования, и дальнейшее уменьшение размеров транзисторов сопряжено с ростом паразитных эффектов, утечек и энергетических потерь. В этой связи двумерные полупроводники, прежде всего MoS_2 и WS_2 , привлекают особый интерес: наличие у них прямой запрещенной зоны в монослойном состоянии, высокая подвижность носителей заряда, а также возможность формировать стабильные каналы атомарной толщины делают их перспективными для создания транзисторов нового поколения. Кроме того, такие материалы открывают принципиально новые горизонты в области оптоэлектроники, сенсорных систем, гибкой и носимой электроники, а также устройств спинтроники и долинтроники.

Научная новизна и результаты. В своей диссертационной работе Логинов А.Б. продемонстрировал комплексный подход к решению задачи синтеза и анализа пленок MoS_2 и WS_2 . Разработанные им методики ГФХО синтеза позволили

существенно ускорить формирование сплошных плёнок с контролируемыми морфологическими характеристиками, что имеет принципиальное значение для их промышленного внедрения. Особый интерес представляют результаты по формированию гетероструктур WS_2/MoS_2 , обладающих новыми оптическими и электрическими свойствами. Такие структуры являются прототипами будущих многослойных элементов электроники и фотоники, позволяя создавать устройства с заранее заданными характеристиками.

Впервые были предложены методики селективного управления морфологией MoS_2 с помощью лазерной абляции, что открывает возможности для получения анизотропных структур с уникальными характеристиками. Кроме того, в диссертации показано, что плёнки MoS_2 могут эффективно функционировать в качестве газовых сенсоров с малым временем отклика и фоточувствительных элементов, что подтверждает многофункциональный потенциал разработанных технологий.

Практическая значимость. Результаты, полученные Логиновым А.Б., имеют как академическую, так и прикладную ценность. Они согласуются с глобальными тенденциями в области полупроводниковой технологии, где MoS_2 и WS_2 рассматриваются в качестве ключевых кандидатов для «посткремниевой» электроники. Практическая значимость заключается в том, что предложенные методы синтеза и контроля морфологии создают основу для перехода от лабораторных экспериментов к промышленным процессам, что соответствует стратегическим направлениям развития мировой микроэлектроники. Таким образом, работа Логинова А.Б. не только привносит новые данные о механизмах роста и свойствах дихалькогенидов переходных металлов, но и имеет прямое отношение к развитию новых полупроводниковых технологий.

В качестве **замечаний** к работе следует выделить:

1. В описании научной новизны работы при выбранной стилистике изложения недостаточно информации для полного раскрытия положений, выдвигаемых на защиту, несмотря на наличие информации в публикациях автора;
2. Разработка конструкции встраиваемого сканирующего зондового микроскопа, вынесенная в первый пункт научной новизны работы больше относится к техническому результату, чем к фундаментальному научному;

3. Формулировка второго пункта научной новизны не раскрывает целеполагание изучения формирования графеновых пузырей, образование которых в пленках, как правило, не желательно для их использования в микроэлектронике.
4. В п.5. научной новизны было бы желательно перечисление и краткое описание выявленных пяти стадий роста ДПМ пленок, а трансформацию спектра ФЛ следовало бы вынести в отдельный пункт.

Вместе с тем, указанные замечания не снижают общую положительную оценку диссертационной работы.

Заключение. Диссертация Логинова Артема Борисовича представляет собой глубокое и всестороннее исследование актуальной проблемы современной науки и техники. Работа сочетает фундаментальные исследования с ярко выраженной прикладной направленностью, отличается высоким уровнем экспериментальной проработки и наличием оригинальных результатов, имеющих значительный потенциал для внедрения в область микро- и нанoeлектроники. Автореферат полностью соответствует требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук. Считаю работу заслуживающей высокой оценки, а её автора — достойным присуждения искомой степени.

Беспалов Владимир Александрович

профессор, чл.-корр. РАН, д.т.н.,

научный руководитель НИУ МИЭТ

25.08.2025