УДК 544.22

ТОНКИЕ ПЛЕНКИ ДИСУЛЬФИДА МОЛИБДЕНА ДЛЯ НАНОЭЛЕКТРОНИКИ

Чжо Зин Пью

*Студент 2 курса магистратуры,
кафедра «Электронные технологии в машиностроении»
Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: А.И. Беликов,
кандидат технических наук, доцент кафедры «Электронные технологии в машиностроении»*

В настоящее время наиболее широко исследуемым и перспективным «двумерным» материалом нанoeлектроники является графен, который обеспечивает высокую подвижность носителей заряда. Однако, наряду с графеном, интерес исследователей вызывают также и другие материалы, анизотропная структура которых позволяет методом механического расщепления слоев получать образцы пленок толщиной в молекулу. К таким материалам относятся дисульфид молибдена и гексагональная модификация нитрида бора. Монослойный дисульфид молибдена, как перспективный двумерный материал, обладает прямой запрещенной зоной шириной в 1.79 эВ (например, у кремния эта величина составляет 1 эВ) [1], что представляет интерес применительно к цифровой электронике. Атомарный слой графена вследствие отсутствия запрещенной зоны, не подходит для ряда применений в области электроники и оптики.

На сегодняшний день исследователи смогли получить целый ряд экспериментальных образцов приборов на основе монослойного дисульфида молибдена, которые определили круг возможных применений этого материала. Среди таких применений можно назвать следующие: миниатюрные полевые транзисторы для дискретной логики [1], гибкие прозрачные транзисторы на основе дисульфида молибдена, графена и нитрида бора [2], сверхвысокая чувствительность к оптическому излучению определяет высокий потенциал к использованию дисульфида молибдена в фотодетекторах. Возможно также применение монослойных пленок MoS₂ в светодиодах, солнечной энергетике, устройствах флеш-памяти и т.д. К этому стоит добавить тот факт, что дисульфид молибдена работоспособен и устойчив, как соединение, в диапазоне температур от минус 80 до плюс 450°C.

Учитывая перспективность рассматриваемого материала, следует отметить, что экономическая целесообразность и возможность его применения в промышленных масштабах, определяются наличием технологических методов формирования монослойных пленок MoS₂ на больших подложках для использования в групповой технологии. В этой связи задача разработки промышленных методов формирования нанотолщинных пленок MoS₂ совершенной структуры является актуальной.

На основании проведенного литературного обзора можно выделить следующие возможные методы получения тонких пленок дисульфида молибдена:

Метод химического осаждения из газовой фазы – CVD (Chemical Vapour Deposition) [3], химический пилинг [4], механический пилинг [5], жидкостной пилинг [6], метод магнетронного распыления в вакууме [7] и другие методы. Основные методы, их режимы и особенности представлены в таблице 1.

Таблица 1. Сравнительный анализ различных методов получения тонких пленок дисульфида молибдена.

Метод	Температура, С	Толщина, нм	Время, мин	Особенности
CVD [3]	650-1100	2-5	30	Возможность нанесения на большие подложки, высокая температура.
Химический пилинг [4]	50-225	0,5-1	60	Высокое качество пленок из нескольких слоев, низкая экологичность процесса.
Механический пилинг [5]	75-100	0,8	<15	Получение небольших образцов для экспериментальных устройств путем механического расщепления слоев по плоскости («скотч-метод»).
Жидкостный пилинг [6]	85	2,5	210	Низкая технологичность метода, формирование фрагментов пленок с различным количеством слоев.
Метод магнетронного распыления [7]	180	0,2-3, мкм	45	Возможность формирования поликристаллических и текстурированных пленок, высокая воспроизводимость процесса.

На основании проведенного анализа можно сделать вывод о том, что наиболее перспективным для промышленной реализации является метод магнетронного распыления, обеспечивающий высокую воспроизводимость и стехиометрический состав покрытия. Таким методом, как правило, формируются поликристаллические пленки, поэтому для оценки возможностей метода применительно к получению совершенных монослойных пленок дисульфида молибдена на кристаллических подложках, необходимо усовершенствование метода и исследование процессов формирования пленок при наличии различных технологических факторов, обеспечивающих текстурирование и реализацию механизма эпитаксиального роста.

Литература

1. Eugene S.Kadantsev, Pawel Hawrylakb. Electronic structure of a single MoS₂ monolayer // Solid State Communications, 10.02.2012
2. Gwan-Hyoung Lee, Young-Jun Yu, Xu Cui; Flexible and Transparent MoS₂ Field Effect Transistors on Hexagonal Boron Nitride-Graphene Heterostructures; August 7, 2013
3. Manish Chhowalla1, Hyeon Suk Shin, Goki Eda, Lain-Jong Li, Kian Ping Loh ,Hua Zhang; The chemistry of two-dimensional layered transition metal dichalcogenide nanosheets. 20 march 2013.
4. Zhiyuan Zeng, Ting Sun, Jixin Zhu, Xiao Huang. An Effective Method for the Fabrication of Few-Layer-Thick Inorganic Nanosheet // Nanyang Technological University Singapore, 2012.
5. Michele Buscema, Rianda Molenaar, Vibhor Singh, Laurens Janssen, Herre S. J. van der Zant and Gary A. Steele. Deterministic transfer of two-dimensional materials by all-dry viscoelastic stamping. KIN, Netherland 2014.
6. Deepesh Gopalakrishnan, Dijo Damien, and Manikoth M. Shaijumon. MoS₂ Quantum Dot-Interspersed Exfoliated MoS₂ Nanosheets; April 28, 2014.India.
7. Б.Ф. Есимович. Нанотекстурированные пленки дисульфида и диселенида вольфрама с фотоактивными свойствами-Диссертация, 2014.