

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**

**ТРУДЫ
XIII ВСЕРОССИЙСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ
СТУДЕНЧЕСКИХ
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ
ИНКУБАТОРОВ**

Томск, 17–18 мая 2016 г.

Томск
Издательский Дом Томского государственного университета
2016

Исследование возможностей термического напыления тонких слоев Ga_2O_3 и GaSe на подложки из сапфира и селенида галлия

М.К. Мамежанов, С.А. Березная, З.В. Коротченко,
Р.А. Редькин, С.Ю. Саркисов

*Национальный исследовательский Томский государственный университет,
г. Томск, Россия*

maksatmamezhanov@mail.ru

Объемные кристаллы GaSe несколько десятков лет применяются в нелинейной оптике для генерации ИК- и терагерцового излучения. Тем не менее до настоящего времени не разработана технология получения просветляющих покрытий на кристаллы GaSe, что связано с их низкой механической твердостью и плохой адгезией большинства используемых пленок. Ранее нами было установлено [1], что в отличие от пленок SiO_2 и TiO_2 , широко используемых для создания просветляющих покрытий, пленки Ga_2O_3 обладают хорошей адгезией к GaSe и не имеют тенденции к растрескиванию. Это делает перспективной разработку защитных и двухслойных просветляющих покрытий для селенида галлия с использованием этого соединения. В настоящей работе для нанесения слоев Ga_2O_3 использовалось термическое напыление. Исследована возможность нанесения по этой же технологии слоев селенида галлия на поверхность подложки из лейкосапфира. Со времени открытия уникальных свойств графена идет поиск материалов с подобными свойствами, а также технологий получения нанослойных структур и устройств на их основе. Решение этих задач необходимо для разработки технологий будущего, для которых требуются миниатюрные фотоприемники, преобразователи частоты, модуляторы оптического и ИК излучения. В последние 3–4 года появился ряд работ, связанных с исследованием слоев селенида галлия нанометровой толщины. Было показано, что фоточувствительность и нелинейная восприимчивость второго порядка таких слоев существенно выше, чем у объемных кристаллов [2]. Выполненные в настоящей работе исследования получения поликристаллических пленок селенида галлия являются первым шагом к разработке технологии получения нанослоев GaSe.

Как известно, для однослойного просветляющего покрытия толщина d и показатель преломления n пленки должны удовлетворять условиям

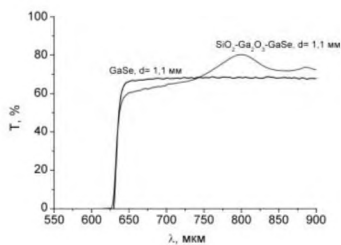
$(n_{\text{пленки}})^2 = n_{\text{GaSe}}, n_{\text{пленки}} \cdot d = \lambda/4$, где λ – рабочая длина волны. Показатель преломления GaSe в ИК области составляет порядка 2,7. Таким образом, Ga₂O₃, обладающий показателем преломления 1,8–2,1, не подходит для создания однослойных просветляющих покрытий для GaSe. В этой связи перспективными представляются многослойные покрытия, включающие нижний слой с хорошей адгезией, на который сверху можно наносить слои с необходимыми показателями преломления. Для двухслойных просветляющих покрытий нужно рассматривать пленки с показателями преломления и толщинами, обеспечивающими задержку в четверть длины волны. При этом должно выполняться условие $n_2 = (n_{\text{GaSe}} \cdot n_1^2)^{1/2}$, где n – показатель преломления, индексы 1 и 2 обозначают первый и второй слои. Таким образом, для первого слоя, наносимого непосредственно на подложку, могут подходить некоторые фазы Ga₂O₃. Для изготовления внешнего слоя нужны материалы с показателями преломления порядка 1,35–1,45. Среди таких материалов можно рассматривать SiO₂.

Нанесение проводилось термическим испарением на свежесколотую поверхность GaSe в вакууме не хуже 10⁻⁶ Па на установке ВУП-4. Выбор температурно-временного режима напыления имеет решающее значение для контроля как толщины пленки, так и ее фазового состава, оптических свойств и морфологии поверхности. Толщина наносимых пленок контролировалась с помощью измерений на атомно-силовом микроскопе. В результате выяснено, что путем контроля длительности процесса испарения возможно контролировать толщину пленки с точность до 20–35 нм.



а

Рис. 1. Фотографии пластин GaSe с напыленными слоями Ga₂O₃ (слева) и SiO₂ (справа)



б

Рис. 2. Спектры пропускания структуры SiO₂-Ga₂O₃-GaSe и кристалла GaSe в ближней ИК области

В качестве первой пары материалов для изготовления двухслойного покрытия были выбраны SiO₂ ($n = 1,45$) и Ga₂O₃. В первом эксперименте

было запланировано получить минимум отражения на длине волны титан-сапфирового лазера 800 нм. Для изготовления структуры на поверхность пластики из GaSe толщиной 1,1 мм наносился слой Ga₂O₃ толщиной около 90 нм. Далее на полученную пленку Ga₂O₃ методом магнетронного распыления на постоянном токе наносилась пленка SiO₂ толщиной ~140 нм. Напыление проводилось из кремниевой мишени в атмосфере смеси газов кислорода и аргона (30/70%). В результате была получена двухслойная пленка удовлетворительного структурного качества, значительно более высокого, чем удается получить для пленки SiO₂, нанесенной непосредственно на GaSe (пример такой пленки с микротрещинами показан на рис. 1). Спектры пропускания образцов измерялись на спектрометре Ocean Optics USB 4000+ (Ocean Optics, США). При измерениях был обнаружен широкий максимум пропускания в районе длины волны 800 нм (рис. 2). Более качественные исследования требуют измерений на отражение, так как обратная сторона образца не имеет просветляющего покрытия. Видно увеличение пропускания структуры по сравнению с кристаллом GaSe без покрытия той же толщины. Погрешности в контроле толщины пленок, а также недостаточно высокий показатель преломления пленки Ga₂O₃ приводят к снижению эффективности покрытия.

Была проведена экспериментальная работа по термическому напылению слоев GaSe на подложки из лейкосапфира. Целью работы являлось получение плёнок толщиной в несколько четырехслойных пакетов. В эксперименте был использован порошок GaSe, полученный механическим измельчением кристалла GaSe. Эксперимент проводился на установке ВУП-4. Порошок массой 20–100 мг засыпался в лодочку, через которую пропускался ток высокого напряжения. Нагреваясь до высоких температур, порошок испарялся и оседал на заранее установленную сверху подложку. После эксперимента толщина слоев GaSe измерялась на атомно-силовом микроскопе. Измерения показали, что при массе навески 5 мг достигнуты толщины слоев порядка 10–15 нм.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Bereznaya S.A., Zarubin A.N., Korotchenko Z.V., Prudaev I.A., Red'kin R.A., Sarkisov S.Yu., Tolbanov O.P.* Transmission spectra and generation of terahertz pulses in SiO₂-GaSe, TiO₂-GaSe, Ga₂O₃-GaSe and GaSe:S structures // *Russian Phys. J.* – 2015. – Vol. 58, № 8. – P. 1181–1185.
2. *Hu P.A., Wen Z.Z., Wang L.F., Tan P.H., Xiao K.* Synthesis of few-layer GaSe nanosheets for high performance photodetectors // *ACS Nano.* – 2012. – Vol. 6. – P. 5988–5994.