

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
СИБИРСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

ФИЗИКА ТВЕРДОГО ТЕЛА

СБОРНИК МАТЕРИАЛОВ XV РОССИЙСКОЙ НАУЧНОЙ СТУДЕНЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ

18–20 мая 2016 г., г. Томск, Россия

Томск
Издательский Дом Томского государственного университета
2016

Исследование возможностей термического напыления тонких слоев Ga₂O₃ и GaSe на подложки из сапфира и селенида галлия

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

Национальный исследовательский Томский государственный университет,
634050, г. Томск

E-mail: maksatmamezhanov@mail.ru

The study of possibilities for thermal deposition of Ga₂O₃ and GaSe thin films onto sapphire and gallium selenide substrates

*M.K. Mamezhanov, S.A. Bereznaya, Z.V. Korotchenko,
R.A. Redkin, S.Yu. Sarkisov*

National Research Tomsk State University, 634050, Tomsk

E-mail: 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 разработано технологии получения просветляющих покрытий на кристаллы GaSe, что связано с их низкой механической твердостью и плохой адгезией большинства используемых пленок. Ранее [1] нами было установлено, что в отличие от пленок SiO₂ и TiO₂, широко используемых для создания просветляющих покрытий, пленки Ga₂O₃ обладают хорошей адгезией к GaSe и не имеют тенденции к растрескиванию. Это делает перспективной разработку защитных и двуслойных просветляющих покрытий для селенида галлия с использованием этого соединения. В настоящей работе для нанесения слоев Ga₂O₃ использовалось термическое напыление. По этой же технологии исследована возможность нанесения 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 нужно для получения технологий будущего, для которых необходимы 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 как для контроля толщины пленки, так и ее фазового состава, оптических свойств и морфологии ее 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 точностью до 20–35 нм.

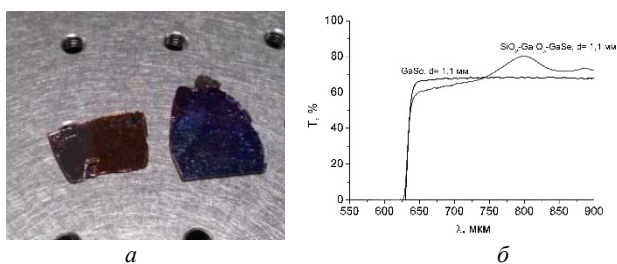


Рис. 1. Фотографии пластин GaSe с напыленными слоями (а) Ga₂O₃ (слева) и SiO₂ (справа); спектры пропускания структуры SiO₂-Ga₂O₃-GaSe и кристалла GaSe в ближней ИК области (б)

В качестве первой пары материалов для изготовления двуслойного 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 пластины 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 двуслойная пленка удовлетворительного структурного качества, значительно более высокого, чем удастся получить для пленки SiO₂, нанесенной непосредственно на GaSe (пример такой пленки с микротрещинами показан на рис. 1, а). 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. 1, б). Более качественные измерения 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 использовался 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.

Литература

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.