

Труды XXXII сессии Российского акустического общества

ISBN 978-5-89118-802-0

МОСКВА 14-18 ОКТЯБРЯ 2019 г
«ГЕОС»



рао



АО «АКИН»

Русский

XXXII
СЕССИЯ

Английский

Proceedings

of the XXXII session of Russian Acoustical Society
Moscow October 14-18 2019
«ГЕОС»

Оптимизация процесса осаждения пьезоэлектрических пленок с наклонной ориентацией оси текстуры с помощью метода акустической резонаторной спектроскопии

С. Г. Алексеев^{1,a}, В. А. Лузанов², Н. И. Ползикова¹

¹ *Институт радиотехники и электроники им. В. А. Котельникова РАН, Россия, 125009, Москва, ул. Моховая, д. 11, стр. 7.*

² *Фрязинская часть Института радиотехники и электроники им. В. А. Котельникова РАН, Россия, 141190, Московская обл., Фрязино, пл. Введенского, д.1.*

E-mail: ^a alekseev@cplire.ru

Отработаны технологические параметры для изготовления тонкопленочных преобразователей объемных сдвиговых акустических волн на частоту 2.4 ГГц. Показана эффективность метода составной резонаторной спектроскопии для исследования пространственного распределения свойств пьезоэлектрической пленки. Обнаружено изменение типа пьезопреобразователя (четверть- и полуволновый) при изменении расстояния от подложки до оси магнетрона при нанесении пленки ZnO, что приводит к двукратному увеличению рабочей частоты преобразователя.

Ключевые слова: ZnO, наклонная текстура, сдвиговые акустические волны, резонатор объемных акустических волн, акустическая резонаторная спектроскопия

УДК: 53.08, 534.29

PACS: 72.25.Pn, 75.76.+j, 76.50.+g

Введение

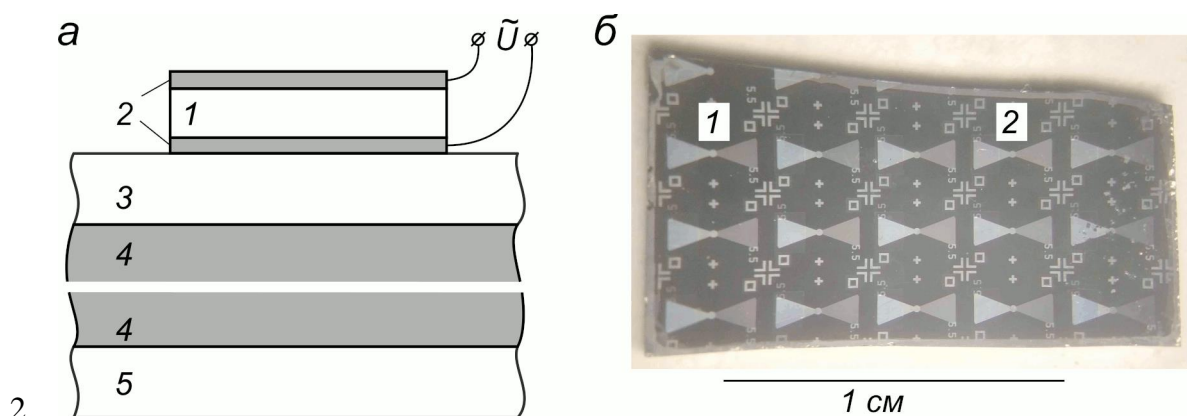
Тонкопленочные преобразователи СВЧ сдвиговых объемных акустических волн (ОАВ) весьма востребованы в современной технике. Их применяют в резонаторах и фильтрах гигагерцового диапазона, а также в сенсорах. Актуальность применения сдвиговых ОАВ для создания высокочастотных резонаторов обусловлена наличием кристаллов с рекордно малым поглощением сдвиговых волн. Важным преимуществом сенсоров на сдвиговых ОАВ, в отличие от сенсоров на продольных, является способность работать в жидкой среде.

Ранее нами была предложена методика изготовления преобразователей на основе пленок ZnO с наклоном оси текстуры в результате бокового сдвига подложки относительно оси распылительной системы. В работе [1] методом рентгенографии были определены оптимальные смещения положения подложек и расстояния между

плоскостями мишени и подложки. Были получены пленки с оптимальным наклоном оси текстуры в 35° .

Важную роль сдвиговые ОАВ играют в физической акустике, в частности, они используются для изучения магнитоупругих явлений в композитном резонаторе объемных акустических волн (НВАР) [2-5]. Для исследования влияния акустической волны на магнитную динамику тонкопленочный пьезопреобразователь наносился на одну из сторон слоистой структуры из галлий-гадолиниевого граната (ГГГ) с эпитаксиальными слоями железо-иттриевого граната (ЖИГ). Для исследования эффекта акустической спиновой накачки возникла необходимость получить НВАР с максимально эффективным возбуждением сдвиговых ОАВ на максимально высокой частоте, что явилось мотивацией данной работы.

1 Структура резонатора и метод нанесения пленки ZnO



3 Рис. 1. а) схема резонаторной структуры в поперечном сечении; б) расположение резонаторных структур на подложке

Экспериментальный образец представлял собой НВАР на основе эпитаксиальной структуры ЖИГ(3) – ГГГ(4) – ЖИГ(5), толщина слоев ЖИГ ~ 30 мкм. На поверхность одного из слоев ЖИГ наносилась тонкая (~ 100 нм) пленка поликристаллического алюминия (2). Из нее методом фотолитографии формировался нижний электрод структуры. Затем наносилась пленка ZnO(1) толщиной ~ 1.15 мкм и в ней формировались «окна» для контакта к нижнему электроду. Затем на пленку ZnO наносился верхний электрод из алюминия, область перекрытия верхнего и нижнего электродов определяла апертуру резонатора, которая составила ~ 200 мкм.

Пленки ZnO осаждались методом магнетронного реактивного распыления цинковой мишени в кислородосодержащей атмосфере. Из-за того, что пьезоэлектрическая пленка наносилась на металлические нижние электроды преобразователя, ориентирующее влияние подложки можно исключить. Вакуумная

камера предварительно откачивалась до давления 1.3×10^{-4} Па. В качестве рабочего газа использовался кислород. Во время осаждения пленки поддерживалось давление 0.666 Па. Подложка нагревалась до температуры 300°C , что обеспечивало достаточную подвижность адсорбированных атомов для ориентированного роста.

Для создания необходимой конфигурации магнитного поля при магнетронном разряде была изготовлена магнитная система в соответствии с [6]. Характерной особенностью такого магнетронного распылителя является наличие инверсии магнитного поля, которая обусловлена более сильной намагниченностью наружного кольцевого магнита. В данной магнитной схеме обеспечивается двукратное превышение напряженности магнитного поля по краю мишени по сравнению с центральной областью. При этом достигается значительное усиление бомбардировки растущего слоя энергетическими ионами и атомами кислорода, что способствует формированию наклонной текстуры осаждаемых пленок. При мощности высокочастотного разряда 500 Вт скорость осаждения пленки составляла 3 мкм/ч.

В работе [1] нами были определены оптимальные геометрические параметры расположения подложки относительно мишени. На плоскости, параллельной плоскости мишени и отстоящей от нее на 50 мм, располагалась подложка на расстоянии 30 мм от проекции центра мишени. Подложка была ориентирована длинной стороной вдоль радиуса, это обеспечивало требуемую для эксперимента ориентацию текстуры ZnO.

Измерения проводились согласованным СВЧ пробником на предварительно откалиброванном СВЧ тракте. С помощью анализатора цепей для каждой из структур был снят частотный спектр электрического коэффициента отражения S_{11} от структуры в диапазоне 400 МГц – 6 ГГц. Анализ спектров проводился с помощью методов, описанных в работе [7].

2 Результаты и их обсуждение

На рис. 2а и б показаны частотные зависимости модуля электрического коэффициента отражения S_{11} для образцов 1 и 2 (обозначения на рис. 1). Видно, что в образце 1 хорошо возбуждаются как продольные (редкие резонансные пики, более светлая область), так и сдвиговые (частые резонансы, более темная область) волны. В образце 2 продольные волны возбуждаются слабо. Максимум возбуждения сдвиговых волн в образце 1 находится на частоте 1.2 ГГц, в то время как в образце 2 частота максимума в два раза выше (2.4 ГГц).

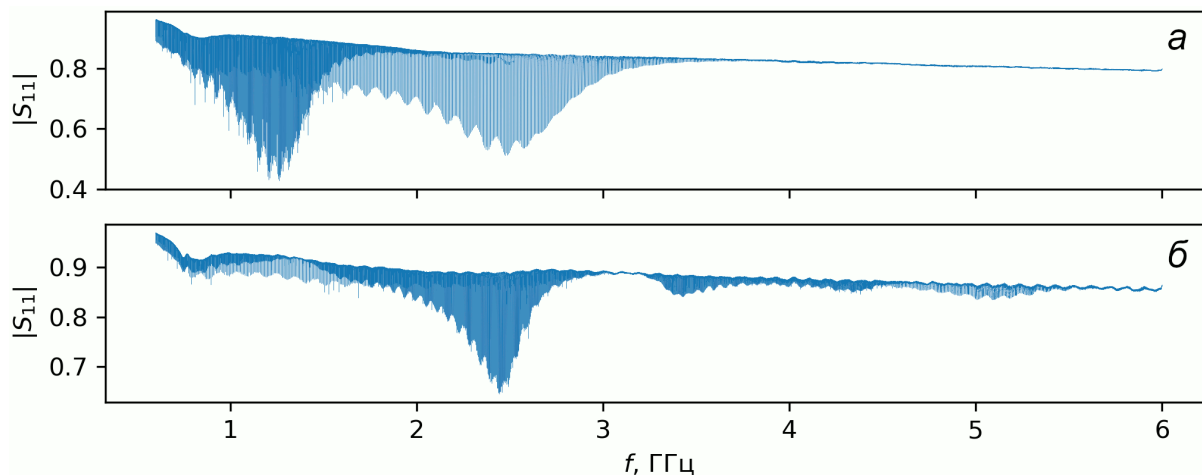


Рис. 2. Частотные зависимости электрического коэффициента отражения S_{11} для образцов 1 (а) и 2 (б)

Эффект переключения типа преобразователя состоит в наличии круговой границы на расстоянии 30 см от оси магнетрона. Образцы с одной стороны от нее возбуждаются на частоте около 1.2 ГГц, а с другой – на частоте, вдвое большей (2.4 ГГц). Точный механизм образования этой границы пока не выяснен. Мы считаем, что эффект переключения связан с неоднородностью магнитного поля в магнетроне. Рост пленки всегда начинается без наклона текстуры, что ограничивает минимальную толщину пленки и, как следствие, верхнюю частотную границу работы преобразователя. Таким образом эффективные значения акустического импеданса и коэффициента электромеханической связи могут существенно отличаться от табличных значений для объемных материалов. Мы предполагаем, что, поскольку удельный импеданс пленки ZnO меняется по мере удаления от преобразователя, с одной стороны от границы эффективный импеданс неориентированного слоя больше, чем ориентированного, а с другой – меньше. Это приводит к изменению характера отражений ОАВ внутри пьезопреобразователя, что приводит к смене его типа (с четверть- на полуволновый). Для того, чтобы проверить это предположение, в дальнейшем мы планируем сделать рентгеноструктурный анализ пленки ZnO и исследовать скол образца на электронном микроскопе.

Заключение

В ходе работы были отработаны технологические параметры для изготовления тонкопленочных преобразователей объемных сдвиговых волн на частоту 2.5 ГГц. Для контроля за пространственным распределением свойств пленки были сняты спектры электрического коэффициента отражения S_{11} для матрицы 3x5 резонаторных структур. Было показано, что свойства пленки меняются в направлении от оси распылительной

системы. Одновременно была обнаружена скачкообразная смена типа преобразователя (четверть- и полуволновый) в зависимости от расстояния до оси магнетрона при нанесении пленки ZnO, что приводит к двукратному увеличению рабочей частоты пьезопреобразователя.

Работа выполнена в рамках государственного задания и частично поддержана грантом Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 17-07-01498)

Список литературы

1. Лузанов В.А., Алексеев С.Г., Ползикова Н.И. РЭ. 2018. **63**, №9. С.1015.
2. Polzikova N., Alekseev S., Kotelyanskii I., Raevskiy A., Fetisov Y. J. Appl. Phys. 2013. **113**, N 17. P. 17C704
3. Polzikova N.I., Alekseev S.G., Pyataikin I.I., Kotelyanskii I.M., Luzanov V.A., Orlov A.P. AIP Advances. 2016. **6**, N 5. P.056306
4. Polzikova N.I., Alekseev S.G., Pyataikin I.I., Luzanov V.A., Raevskiy A.O., Kotov V.A. AIP Advances. 2018. **8**, N 5. P. 056128
5. Polzikova N. I., Alekseev S. G., Luzanov V. A., Raevskiy A. O. J. Mag. Mag. Mat. 2019. **479**, P. 38
6. Котелянский И.М., Крикунов А.И., Лузанов В.А., Веселов А.Г., Джумалиев А.С. А. с. СССР № 1394742. Оpubл. 07.12.1992. Б.И. №45.
7. Алексеев С.Г., Ползикова Н.И., Котелянский И.М., Мансфельд Г.Д. РЭ. 2015. **60**, №3. С.317.

Сведения об авторах

1. Ползикова Наталья Ивановна, доктор физ.-мат. наук, старший научный сотрудник, главный научный сотрудник, 8 495 629-34-12, polz@cplire.ru
2. Алексеев Сергей Георгиевич, кандидат физ.-мат. наук, --, старший научный сотрудник, 8 495 629-34-12, polz@cplire.ru
3. Лузанов Валерий Альбертович, кандидат физ.-мат. наук, старший научный сотрудник, ведущий научный сотрудник, 8 496 565-24-63, valery@luzanov.ru
4. Раевский Александр Осипович, кандидат физ.-мат. наук, доцент, старший научный сотрудник, 8 495 629-33-80, red@cplire.ru

назад к Содержанию секции