

ТЕРМОРЕЗИСТИВНЫЕ СВОЙСТВА АНОДНЫХ НИОБИЕВЫХ СТОЛБИКОВО-МАТРИЧНЫХ НАНОСТРУКТУР

А.Н. Плиговка, Г.Г. Горох, А.Н. Луферов (Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, Минск)

За последние десятилетия тонкопленочные терморезистивные элементы остаются самыми быстрыми существующими датчиками температуры. Очень малая тепловая масса при большой площади поверхности тонких пленок позволяет повысить время отклика при измерениях температуры, что расширяет сферы применения тонкопленочных терморезистивных элементов от датчиков расхода тепловой скорости ветра до инфракрасных детекторов и СВЧ ваттметров. Однако температурная чувствительность таких датчиков ограничивается низким температурным коэффициентом сопротивления (ТКС) применяемых материалов – ниже 1% либо сложностью и высокой стоимостью изготовления [1].

В данной работе методами электрохимического анодирования были сформированы тонкие наноструктурированные столбиково-матричные пленки на основе двухслойной системы Al/Nb с ТКС более 1% и исследованы характеристики.

На кремниевые подложки методом магнетронного напыления наносились двухслойные системы металлов Al/Nb (2000/150 нм). Затем проводилось пористое электрохимическое анодирование верхнего Al в 0,2 М водном растворе щавелевой кислоты при напряжении 37 В для формирования пористого анодного оксида алюминия (АОА). После чего через поры АОА проводили плотное электрохимическое анодирование подслоя Nb в 0,5 М водном растворе борной кислоты до напряжения 100 В. В результате чего поры АОА заполнялись анодным оксидом ниобия (АОН) в форме столбиков. Далее в 50% водном растворе ортофосфорной кислоты при 50 °С проводили удаление верхнего слоя АОА, поры которого были не заполнены АОН. В результате чего была сформирована тонкопленочная наноструктура, состоящая из матрицы пористого АОА, поры которой заполнены АОН с выступающими на поверхность верхушками, расположенной на сплошном слое АОН и не доанодированном Nb на кремниевой пластине [2].

Для исследования терморезистивных характеристик на поверхности сформированной тонкопленочной наноструктуры методами магнетронного напыления, фотолитографии и химического травления формировали верхние контактные площадки размерами 1 на 1 мм. Роль нижней контактной площадки выполняла кремниевая пластина и не доанодированный подслой Nb. Проводили измерения вольт-амперной характеристики (ВАХ), ТКС и температуры нагрева нагрузки от излучения в волноводном тракте СВЧ калориметра.

Полученные ВАХ при различных температурах имели нелинейный характер, что говорит о полупроводниковой природе материала. Из чего следует, что основной проводящей частью в данной структуре является АОН, оксидные фазы которого могут вести себя как полупроводники, а не диэлектрики, в частности NbO_2 . Следует отметить, что сформированные в порах АОА столбики АОН являются комплексным материалом, состоящим из оксидов с разной степенью окисления – Nb_2O_5 , NbO_2 , NbO и др. [3]. В результате измерений ТКС были получены значения порядка 1,5-2% с отрицательным знаком, что также свойственно полупроводниковым материалам.

Сформированная терморезистивная наноструктура была использована в качестве чувствительного элемента калориметрического преобразователя СВЧ мощности. Такой преобразователь может быть применён в составе эталонного измерителя мощности (ваттметра). В основу работы преобразователя положен принцип преобразования мощности СВЧ сигнала в тепловую энергию с последующим измерением величины изменения сопротивления терморезистора, которая пропорциональна падающей на него мощности СВЧ сигнала. Преобразователь представляет собой выносной блок, соединенный с измерительным прибором (вольтметром) и содержит два тонкостенных никелевых волновода, обращённых медью в нагрузочных частях. Волноводы впаяны в латунный

корпус, имеют размеры поперечного сечения 2,4 на 1,2 мм и используются в диапазоне частот 78,33 – 118,1 ГГц. Внутри основного волновода расположена объемная клиновидная поглощающая нагрузка. Частота входного сигнала: 95 ГГц. Уровень входной мощности без ослабления аттенюатора 12,32 мВт. Было установлено, что показания ваттметра достигают величины в 90% от максимальной за период 15,5 с, а 99% за период 40 с, что является очень хорошим результатом на уровне лабораторных измерений.

Таким образом, в результате выполнения работы методами электрохимического анодирования были сформированы высокочувствительные терморезистивные пленки со столбиково-матричной наноструктурой, ТКС которых оказались минус 1,5-2%, а ВАХ имеют нелинейный характер, что свидетельствует о полупроводниковой природе столбиков АОН. Исследования сформированных терморезистивных пленок в составе СВЧ калориметра показали высокую степень отклика и точность измерения, что говорит о перспективности применения разработанных наноструктур в СВЧ технике.

Литература

1. High-sensitivity chip calorimeter platform for sub-nano watt thermal measurement / Joonyoung Koh, Wonhee Lee, Jung H. Shin // *Sensors and Actuators A: Physical*. – 2016, V. 241, P. 60–65.
2. Плиговка А.Н., Горох Г.Г. / Влияние условий анодной поляризации системы Al/Nb на микрогеометрию столбиково-матричной наноструктуры // *Наноструктурированные оксидные пленки и покрытия: Сборник статей по материалам третьей международной молодежной научной школы-семинара, Петрозаводск, Урозера, 5–8 июля 2014 г.* / Изд-во ПетрГУ. – Петрозаводск, 2014. – С. 135–141.
3. Влияние вакуумного отжига на фазовый состав наноструктурированного анодного оксида ниобия. *Наноструктуры в конденсированных средах : сб. науч. ст. / Ин-т тепло- и массообмена им. А.В. Лыкова НАН Беларуси ; редкол. : О.Г. Пенязьков, Э.А. Шпилевский. – Минск, 2015. – С. 72–80.* Плиговка Г.Г., Горох Г.Г., Лозовенко А.А.