

УДК 621.382.001.63

ОБЪЕМНО-ПЛАНАРНЫЙ КОНСТРУКТИВНЫЙ ВАРИАНТ МИКРОДАТЧИКА ОТНОСИТЕЛЬНОЙ ВЛАЖНОСТИ НА НАНОПОРИСТОМ ОКСИДЕ АЛЮМИНИЯ

Н.И. МУХУРОВ

*Институт физики НАН Беларуси
пр. Независимости, 68, Минск, 220072, Беларусь*

Поступила в редакцию 17 декабря 2011

Рассматривается объемно-планарный вариант конструктивного построения и создания миниатюрного емкостного микродатчика относительной влажности на основе нанопористых подложек из анодного оксида алюминия.

Ключевые слова: микродатчик относительной влажности, объемно-планарная конструкция, анодный оксид алюминия, характеристики

Введение

Одним из востребованных типов датчиков состояния окружающей среды является датчик относительной влажности [1, 2]. По принципу преобразования детекторы влажности делятся на две группы: емкостные и резистивные. Емкостные преобразователи обладают практически линейной характеристикой преобразования «влажность-емкость» и являются более точными, чем резистивные. У резистивных преобразователей наблюдается линейная зависимость логарифма сопротивления от влажности [3].

Детекторы с преобразованием «влажность-емкость» являются элементарными первичными преобразователями и требуют дополнительной электронной обработки для преобразования аналогового сигнала (емкости) в цифровой (электрическое напряжение). Резистивные преобразователи являются менее точными и имеют более выраженную зависимость от температуры. Без использования цепей температурной компенсации их можно применять в помещениях со стабильными температурными условиями: дома, складские помещения, овощехранилища и др.

Среди различных чувствительных к относительной влажности материалов достаточно привлекательным является нанопористый анодный оксид алюминия (АОА) [4, 5]. Основные конструктивные варианты датчика влажности на основе АОА представлены планарной и объемной конструкциями, выполненными в виде МДМ (металл-диэлектрик-металл) конденсатора с тонким проницаемым верхним электродом или встречно-штыревой схемой тонкопленочных электродов с нанопористым чувствительным слоем, соответственно. МДМ-конденсатор состоит из алюминиевой подложки, на которой методом электрохимического окисления сформирован анодный окисел [6]. Вторым электродом служит тонкий влагопроницаемый слой металла (чаще всего золота, реже алюминия, серебра, палладия или платины). В качестве подложки используются алюминиевая фольга, кремниевые или керамические подложки с тонкими (~1 мкм) слоями напыленного алюминия. Характеристики алюминиево-оксидных датчиков в основном определяются свойствами анодных пленок оксида алюминия, которые, в свою очередь, зависят от состава электролита и режимов анодирования.

Упрощенная модель строения анодного оксида алюминия предполагает, что он состоит из совокупности плотно упакованных элементарных ячеек тетраэдров с наноразмерными по-

рами в центре каждой из ячеек и обладает адсорбционной активностью за счет наличия гидроксильных групп на развернутой удельной поверхности.

Толщина пленки оксида алюминия влияет на чувствительность датчика и определяет его динамические характеристики. Датчики с толщиной окисной пленки ~ 1,5–2,5 мкм позволяют измерять влажность в пределах от 20 до 100%. В датчиках влажности фирмы Shaw пористую пленку Al_2O_3 перед нанесением верхнего электрода пропитывают насыщенными растворами солей (например, LiCl, CaCl). Недостатком датчиков такого типа является высокая чувствительность к перегрузкам по влажности. В датчиках фирмы Panametrics (США) уменьшили толщину слоя Al_2O_3 до 0,2 мкм и менее, что позволило значительно увеличить быстродействие датчика, чувствительность в области низких концентраций влаги (<1%) и уменьшить размеры. Однако для более широкого диапазона измерений и точностей регистрации значений относительной влажности предпочтительным представляется объемный конструктивный вариант.

Особенности конструкций датчика относительной влажности воздуха на основе нанопористого оксида алюминия

Специфика получения микропористого слоя оксида электрохимическим окислением пластины алюминия располагает к относительно простому конструктивному решению датчика относительной влажности воздуха, заключающемуся в нанесении тонкопленочных электродов МДМ-конденсатора на пористую (контактирующую с электролитом) поверхность, а алюминиевая подложка, на которой сформирован оксидный слой, служит другим электродом конденсатора (рис. 1). К недостаткам такой конструкции относится трудность нанесения полупрозрачного электрода на пористой поверхности оксида алюминия. Тонкий слой металла имеет высокое удельное сопротивление, что увеличивает значения активных потерь в конденсаторной структуре. Относительно толстые пленочные покрытия частично или полностью закрывают поры в диэлектрике, и снижаются сорбционные свойства поверхности оксида.

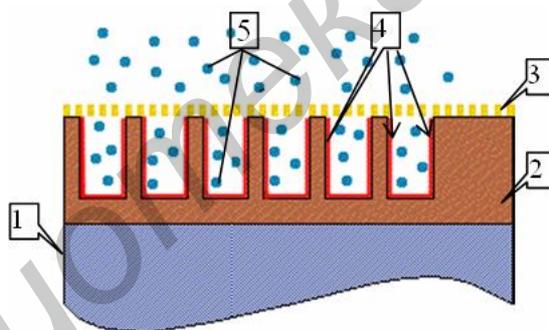


Рис. 1. Схематическое изображение фрагмента емкостного датчика МДМ-конструкции на основе нанопористого анодного оксида алюминия: 1 – алюминиевая подложка, 2 – АОА, 3 – пористый тонкий электрод, 4 – адсорбционная поверхность, 5 – молекулы воды

Емкостная структура со встречно-штыревыми толстопленочными электродами в объеме диэлектрика.

Принципиально отличное конструктивное решение объемного емкостного датчика относительной влажности воздуха иллюстрируется рис. 2. Наличие перпендикулярных обеим поверхностям подложки нанопор в диэлектрике предопределяет благодаря объемному фактору клин травления не более 0,05, т.е. при травлении оксида на глубину 100 мкм подтравливание края не превышает 0,1 мкм. Электроды отдельных конденсаторов выполнены в виде встречно-штыревой гребенки, и «рабочие» поверхности электродов ориентированы параллельно естественным порам оксида алюминия. Величина общей емкости конденсаторных структур определяется шириной h , длиной l штыревых гребенок для планарного конденсатора и может быть представлена в виде

$$C = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon h \cdot l \cdot n}{d},$$

где d – расстояние между соседними штырями гребенки, образующими элементарную ячейку составного конденсатора, а n – количество промежутков между штырями гребенок. Для построения вторичных преобразователей (емкость-напряжение) предпочтительны относительно высокие значения емкостей, которые можно достичь увеличением ширины гребенок h за счет большей толщины подложки оксида алюминия. Активные потери за счет проводимости здесь незначительны. Диэлектрик использован со «сквозными» порами, что снижает времена отклика и релаксации параметров датчика.

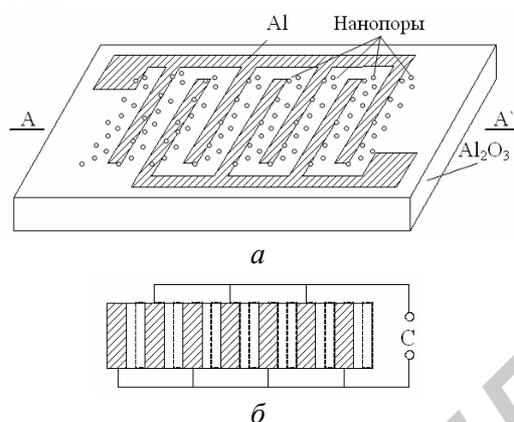


Рис. 2. Емкостная структура с электродами в виде встречно-штыревой гребенки (а), сечение структуры по AA' (б)

Емкостная структура с тонкопленочными встречно-штыревыми электродами в объеме диэлектрика.

Схематически структура датчика с тонкопленочными электродами на боковых стенках протравленных окон в оксиде представлена на рис. 3. Основной процесс в этом случае аналогичен процессу получения формообразующей матрицы. Подложка с перфорацией является исходной для формирования емкостной структуры. Нанесение тонкопленочных покрытий осуществляется термическим распылением соответствующего проводящего материала при размещении перфорированной подложки под углом к потоку пара распыляемого металла (электронно-лучевое испарение никеля с последующим нанесением термическим испарением серебра для уменьшения активных потерь конденсаторной структуры). При определенном соотношении ширины щели, толщины подложки и угла ориентирования подложки с использованием трафаретных масок, достигается полное запыление щелей. Геометрические размеры экспериментальных образцов датчиков относительной влажности составляли следующие значения: $h = d = 100$ мкм, ширина полосок 100 мкм при общей площади подложки ~ 1 см² (рис. 3, в). Поскольку перфорированная подложка перед нанесением пленочных покрытий отделена от алюминия, она была переведена в γ -модификацию с более высокой адсорбционной способностью и соответственно повышенной чувствительностью датчика к относительной влажности воздуха по сравнению с аморфной.

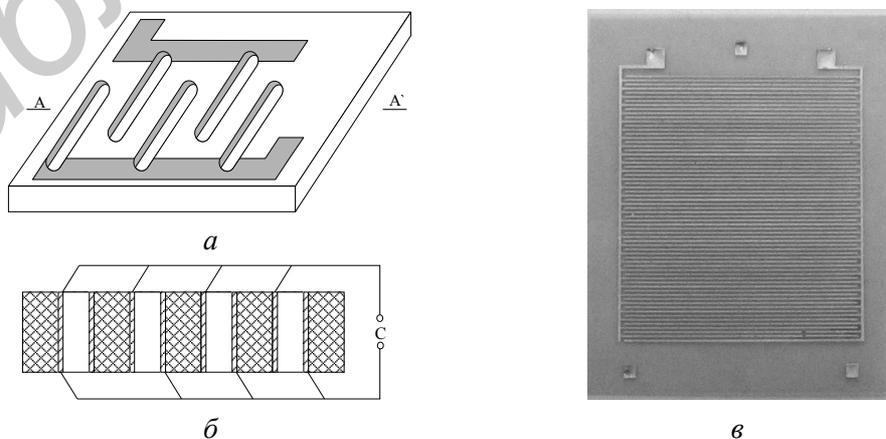


Рис. 3. Емкостная структура (фрагмент) с нанесением на боковых стенках сквозных щелей тонкопленочными электродами (а); сечение конденсатора по AA' – (б), микрофотография емкостной структуры датчика влажности на АОА (в)

На рис. 4 приведены усредненные зависимости изменения емкости датчика от относительной влажности при ее увеличении от 10 % до 90 % и уменьшении до исходных значений. Как следует из этих данных, исходные величины емкости датчика влажности составляют ~30 пФ при минимальном значении относительной влажности и ~200 пФ при ее максимальном значении, т.е. чувствительность – более 2 пФ/%. Это достаточно хороший показатель для проектирования электронной схемы преобразования аналогового сигнала в цифровой.

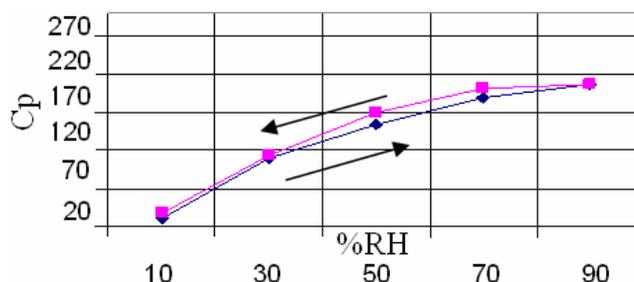


Рис. 4. Усредненные значения изменения емкости датчика при изменении относительной влажности

Проведенные температурные испытания подтвердили предполагаемые относительно небольшие изменения параметров датчика в диапазоне от минимальных до максимальных значений относительной влажности (рис. 5). При нагреве от 20 °С до 60 °С изменения усредненных значений емкости датчика колебались в пределах от 2–3 пФ при относительной влажности 10 %, до 40 пФ – при 90 %.

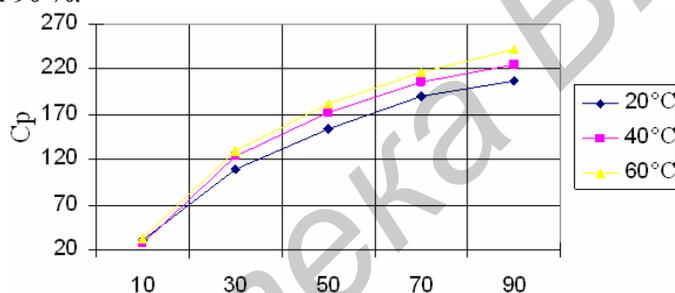


Рис. 5. Усредненные значения изменения емкости датчика при изменении относительной влажности и температуры окружающей среды

Применение технологии на основе пленок анодного оксида алюминия позволяет целенаправленно изменять зазоры между обкладками емкостной структуры, проектировать планарно-объемные конструкции дифференциальных конденсаторов и применять их для емкостных датчиков относительной влажности. Использование возможностей разработанной ранее БИС-преобразователя емкость-напряжение [7] с двумя идентичными каналами позволяет реализовать на основе двух отдельных конденсаторов как «зонд – эталон» высокоэффективные датчики влажности, в которых не требуется дополнительный датчик температуры.

Заключение

Предложен объемно-планарный конструктивный вариант построения емкостного датчика относительной влажности с использованием нанопористой структуры анодного оксида алюминия. Для увеличения адсорбционной способности предложена термообработка подложек при температурах, обеспечивающая максимальную удельную поверхность датчика. По результатам испытаний показаны высокая чувствительность, относительно высокая точность и повторяемость характеристик датчика в диапазоне значений относительной влажности 10–90 %, в том числе при изменении температуры окружающей среды от 20 до 60 °С. Разработанный вариант может послужить прототипом для построения датчиков влажности с электронной схемой преобразования емкость-напряжение на основе БИС.

VOLUME PLANAR VARIANT OF DESIGN OF RELATIVE HUMIDITY SENSORS ON ANODIC ALUMINA

N.I. MUKHUROV

Abstract

The volume planar variant of design and creation of the relative humidity microsensors based anodic alumina nanoporous substrates there are examined in the article.

Список литературы

1. [Электронный ресурс] Режим доступа: http://www.iceweb.com.au/Analyzer/humidity_sensors.html.
2. *Zhi Chen, Chi Lu.* // *Sensor Letters.* 2005. Vol. 3. P. 274–295.
3. [Электронный ресурс] Режим доступа: http://www.alibaba.com/product-gs/467248864/analog_humidity_sensor.html
4. *Timar-Horvath V., Juhasz L., Vass-Varnai A. et al.* // *DTIP of MEMS & MOEMS.* Italy. 25–27. 2007.
5. *Yao L., Zheng M., Li H. et al.* // *Nanotechnology.* 2009. Vol. 20, №39. P. 395501.
6. *Ling Zh. Yu, Chen Sh.Sh., Wang J.Ch. et al.* // *Chinese Science Bulletin.* 2008. Vol. 53, №2. P. 183–187.
7. *Белоус А.И., Мухуров Н.И., Дрозд С.Е. и др.* // *Докл. БГУИР.* 2010. №4(50). С. 42–47.