

УДК 621.382

ИССЛЕДОВАНИЕ МИКРОЭЛЕКТРОННЫХ СЕНСОРОВ ВЛАЖНОСТИ НА ОСНОВЕ ТОНКИХ ПЛЕНОК СЛОЖНЫХ ОКИСЛОВ

А.С.ПОГОСЯН, В.М.АРУТЮНЯН

Государственный инженерный университет Армении,
Ереванский государственный университет

(Поступила в редакцию 10 декабря 1995г.)

Исследованы основные характеристики (влагочувствительность, инерционность, гистерезис, стабильность) сенсоров влажности на основе тонких плёнок Fe_2O_3 с различным содержанием K_2O , а также на основе плёнок $CaSiO_3$ и $NaBiTi_2O_6$ – новых материалов для сенсоров влажности. Найден оптимальный состав $Fe_2O_3(K)$ с точки зрения получения высокой влагочувствительности, быстродействия и линейности в широкой области относительной влажности. Обсуждается механизм влагочувствительности исследованных плёнок. Определены критерии для оптимизации конструктивных параметров высокоимпедансных сенсоров влажности с целью расширения диапазона относительной влажности в сторону низких значений влажности.

1. Среди микроэлектронных химических сенсоров различного типа значительную группу составляют сенсоры влажности. Такой интерес обусловлен развитием не только микроэлектроники, но и других отраслей промышленности, например, металлургии, тонкой и прецизионной химии, атомной энергетики, текстильной промышленности, которые предъявляют новые требования к методам и приборам для автоматизированного измерения влажности как средству получения информации о качестве проведения процессов. Сенсоры влажности широко используются в гидрометеорологии, сельском хозяйстве, в медицине для контроля микроклимата в больничных палатах и в операционных помещениях. В последнее время сенсоры влажности находят все более широкое применение в бытовой технике, например, в кондиционерах, для контроля запотевания стекол автомобилей, в сушилках для одежды, для контроля за процессами приготовления пищи

и др.

Среди преимуществ микроэлектронных сенсоров влажности можно выделить: высокую чувствительность, быстрое действие, высокую надежность, длительный срок службы, малые габариты и вес, возможность преобразования влажности непосредственно в электрический сигнал, низкую стоимость благодаря возможности массового производства и др. К настоящему времени исследован широкий спектр материалов (твердые электролиты, органические полимеры, пористая керамика) для использования их в качестве влажочувствительного материала микроэлектронных сенсоров влажности. Некоторые типы сенсоров выпускаются промышленностью. Обзоры [1-5] в целом дают представление о состоянии работ и перспективах развития исследований в этой области. Вместе с тем, анализ параметров существующих сенсоров показывает, что в настоящее время не существует сенсора влажности, который удовлетворял бы всем предъявляемым требованиям. Вследствие этого усилия специалистов направлены не только на улучшение характеристик существующих сенсоров влажности, но и на поиски новых влажочувствительных материалов и разработку технологии их изготовления с воспроизводимыми влажочувствительными характеристиками. С точки зрения снижения стоимости, уменьшения весогабаритных характеристик, возможности массового производства с использованием групповых методов, а также вследствие выгодного отношения поверхности к объему, наиболее перспективными являются тонкопленочные сорбционно-импедансные сенсоры влажности.

В настоящей работе приведены результаты исследования влажочувствительных характеристик тонких пленок Fe_2O_3 с различным содержанием K_2O , а также пленок $CaSiO_3$, $NaBiTi_2O_6$ — новых материалов для сенсоров влажности. Поверхность этих материалов имеет несколько типов активных центров адсорбции молекул воды, что является предпосылкой получения высоких влажочувствительных характеристик тонкопленочных сенсоров на их основе.

2. Тонкопленочный сенсор влажности, изготовленный и исследованный в настоящей работе, конструктивно представляет собой ситалловую подложку с пленочными металлическими электродами в виде

гребенки, на которой нанесена влагочувствительная пленка. Ширина электродных полосок и межэлектродное расстояние составляет 50 мкм. Геометрические размеры сенсора $5 \times 0,6 \times 7$ мм.

Пленки $Fe_2O_3 \cdot K_2O$, $CaSiO_3$ и $NaBiTi_2O_6$ наносились методом электронно-лучевого испарения на модифицированной установке УВН - 75Н-1 [6]. Использование техники электронно-лучевого испарения для изготовления тонкопленочных элементов сложного состава является одним из перспективных направлений. Улучшение параметров наносимых пленок достигается за счет высоких скоростей испарения, отсутствия взаимодействия испаряемого материала с материалом тигля, что обеспечивает максимальную чистоту пленок. Пленки $Fe_2O_3 \cdot K_2O$, $CaSiO_3$, $NaBiTi_2O_6$ наносились в вакууме $\sim 10^{-2}$ Па на нагретую до температуры $200^\circ C$ ситалловую подложку. В качестве исходного материала использовались спрессованные керамические таблетки тех же материалов. Мощность электронного луча и время напыления в зависимости от состава составляли $0,2 \pm 1$ кВт и $0,5 \pm 1$ мин, соответственно. Часть подложек с пленками $NaBiTi_2O_6$ (обозначим их $NaBiTi_2O_6(1)$) после напыления медленно охлаждались в герметичной камере установки, а другая часть (обозначим их $NaBiTi_2O_6(2)$) – в воздухе, т.е. фактически подвергалась температурному удару. Толщина пленок составляла $\sim 0,3$ мкм. Ситалловые подложки разрезались на отдельные чипы размером 5×7 мм². Соединительные проволоки припаивались к луженым частям контактных площадок (Al – Ni).

3. Измерение сопротивления сенсора в зависимости от влажности воздуха проводилось при комнатной температуре как на постоянном токе, так и на переменном токе частотой 1 кГц. Для создания среды известной влажности использовался переносной термостатированный гигростат ГПТ-130, принцип работы которого основан на методе фазового равновесия над насыщенным раствором соли определенного равновесного значения давления водяного пара. Влажность, устанавливаемая в рабочей камере гигростата, определяется в зависимости от применяемой соли и температуры по известным градуировочным кривым. Пределы создаваемой относительной влажности в рабочей камере гигростата при температуре $20^\circ C$ составляет $12 \pm 97,5\%$. Исследуемые сенсоры влажности и кассета с

насыщенным раствором соответствующей соли устанавливаются в камере ГПИ - 130.

На рис.1 приведены типичные (усредненные по 12 сенсорам) зависимости (калибровочные кривые) сопротивления по постоянному току R_b сенсоров на основе $Fe_2O_3 \cdot K_2O_3$ пленок от относительной влажности ϕ . Чистые (нелегированные) пленки Fe_2O_3 имеют высокое сопротивление и низкую влажочувствительность (изменение сопротивления в диапазоне относительной влажности 33-76 % составляет не более 40%).

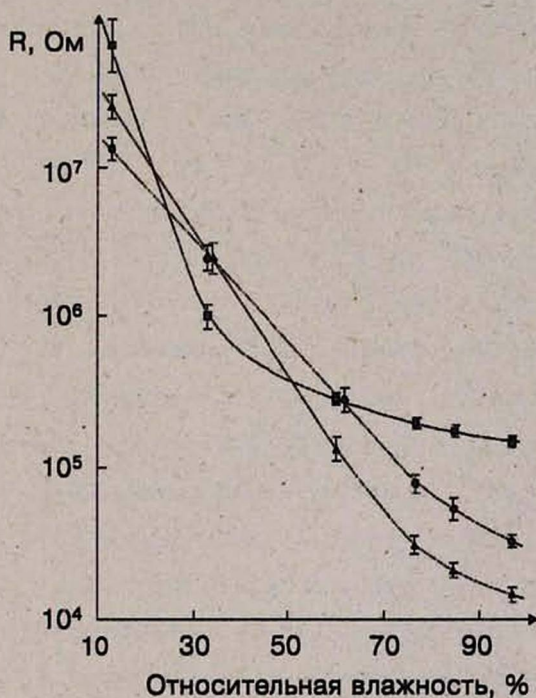


Рис.1 Влажочувствительные характеристики сенсоров на основе тонких пленок Fe_2O_3 с различным содержанием K_2O : ● — 45 вес.% K_2O ; ▲ — 10 вес.% K_2O ; ■ — 2 вес.% K_2O .

Добавка щелочных металлов, в частности, калия, приводит к нескольким эффектам: а) существенно уменьшается сопротивление пленки; б) вместе с протонами в проводимости участвуют поверхностные гидратированные ионы K^+ ; в) существенно увеличивается влажочувствительность. Пленки

Fe_2O_3 с содержанием 2 вес.% K_2O обладают высокой чувствительностью при низких влажностях (12 + 40 %). С увеличением влажности кривая $R_b = f(\varphi)$ стремится к насыщению, что связано с малой концентрацией калия в пленке. Последние являются основными центрами связывания молекул воды. С увеличением содержания K_2O в Fe_2O_3 расширяется линейная область зависимости $R_b = f(\varphi)$. Одновременно наблюдается некоторое уменьшение влажочувствительности в области низких влажностей. Для обеспечения высокой влажочувствительности, быстродействия и линейности в широкой области влажности наиболее оптимальными являются пленки Fe_2O_3 с содержанием 10 вес.% K_2O , которые исследовались более подробно. Сопротивление сенсора изменяется более чем на три порядка в диапазоне относительной влажности 12-97,5%. Время 90% -ного отклика и восстановления составляет в среднем 10 и 15 с, соответственно. Разброс по влажочувствительности для 12 исследованных сенсоров, изготовленных в одном технологическом цикле, в среднем в диапазоне измеряемой влажности составлял не более ± 20 % от усредненного значения, что соответствует изменению относительной влажности на ± 2 %. Гистерезис калибровочных кривых $R_b = f(\varphi)$ проверялся по измерению сопротивления сенсоров при дискретном изменении относительной влажности в камере по следующей последовательности: 85% $\rightarrow$ 75,7% $\rightarrow$ 59,4% $\rightarrow$ 33% $\rightarrow$ 59,4% $\rightarrow$ 75,7% $\rightarrow$ 85%. Гистерезис определялся как разность сопротивлений сенсоров, измеренных при одной и той же относительной влажности (приведенных к относительной влажности). В среднем для 12 исследованных сенсоров гистерезис не превышал 2 % относительной влажности (для отдельных образцов ~ 1 %). Временная стабильность проверялась по измерению дрейфа величины сопротивления сенсоров в течение 1 месяца при относительной влажности 75,7 %. На рис.2 приведена типичная временная зависимость сопротивления сенсоров влажности на основе Fe_2O_3 с содержанием 10 вес.% K_2O . В среднем для 12 исследованных образцов изменение сопротивления сенсоров в течение 1 месяца при относительной влажности 75,7 % не превышало 30%, что соответствует изменению влажности на ~ 3 %. Скорость дрейфа в среднем не превышала 0,1 % относительной влажности в день, причем основной

дрейф наблюдался в первые несколько дней (рис.2).

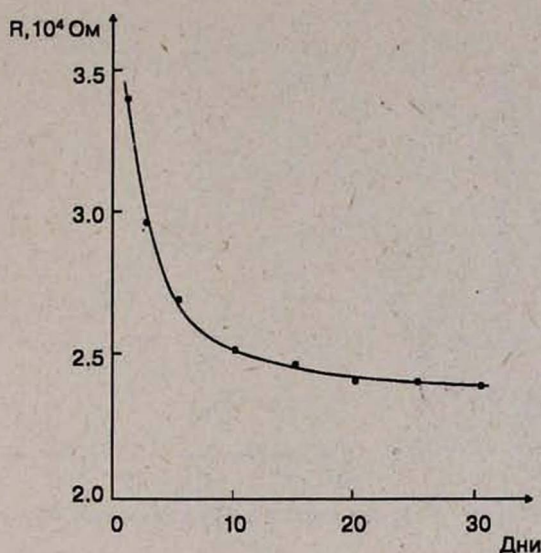


Рис.2. Временная стабильность сопротивления сенсоров влажности на основе пленок Fe_2O_3 с содержанием 10 вес.% K_2O при относительной влажности 75,7%.

Аналогичным испытаниям подвергались также сенсоры влажности на основе пленок CaSiO_3 и $\text{NaBiTi}_2\text{O}_6$ в количестве 8 шт. и 15 шт., соответственно. Типичные (усредненные по количеству сенсоров) экспериментальные зависимости изменения сопротивления по постоянному току и импеданса на частоте 1 кГц сенсоров на основе пленок CaSiO_3 и $\text{NaBiTi}_2\text{O}_6$ от относительной влажности приведены на рис.3 и 4. Там же для сравнения приведена зависимость $R_b = f(\varphi)$ для керамических сенсоров на основе $\text{NaBiTi}_2\text{O}_6$. Пологие участки на кривых $Z = f(\varphi)$ (кажущаяся нечувствительность сенсоров в области относительной влажности менее 20-30%) обусловлены конструктивными особенностями сенсоров (шунтированием емкостной составляющей импеданса сенсоров) [7], что подтверждается измерениями зависимостей $R_b = f(\varphi)$ тех же сенсоров на постоянном токе, а также измерениями влажочувствительных характеристик гребенчатой электродной структуры на ситалловой подложке без влажочувствительной пленки (рис.4).

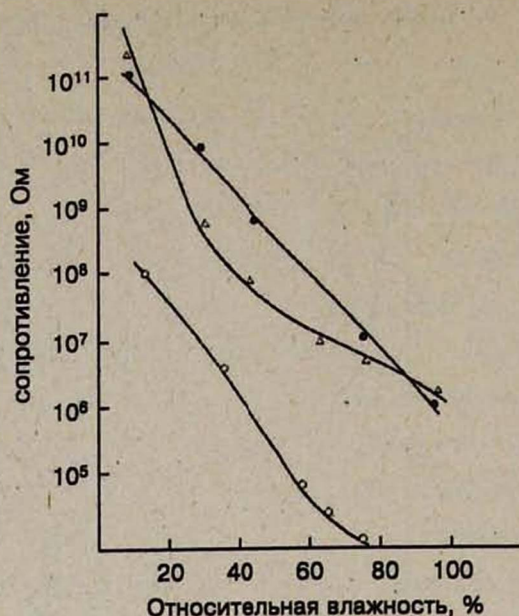


Рис.3. Влажочувствительные характеристики пленок $\text{NaBiTi}_2\text{O}_6(2)$ (•), CaSiO_3 (Δ) и керамики $\text{NaBiTi}_2\text{O}_6$ (○).

Из рис.1, 3 и 4 следует, что с увеличением влажности сопротивление всех сенсоров уменьшается, что характерно для сенсоров влажности ионного типа [4,5]. В области низких влажностей (менее 30%) пленки CaSiO_3 обладают большей чувствительностью, чем пленки $\text{NaBiTi}_2\text{O}_6$. При больших влажностях (более 75%) влажочувствительность уменьшается с увеличением влажности для всех исследованных сенсоров, как для пленочных, так и керамических. Вид зависимостей $R_b = f(\varphi)$ для сенсоров на основе пленок $\text{NaBiTi}_2\text{O}_6(2)$ и на основе керамики $\text{NaBiTi}_2\text{O}_6$ практически не отличается, но они параллельно смещены друг относительно друга по оси сопротивления, что обусловлено разной величиной их начального сопротивления.

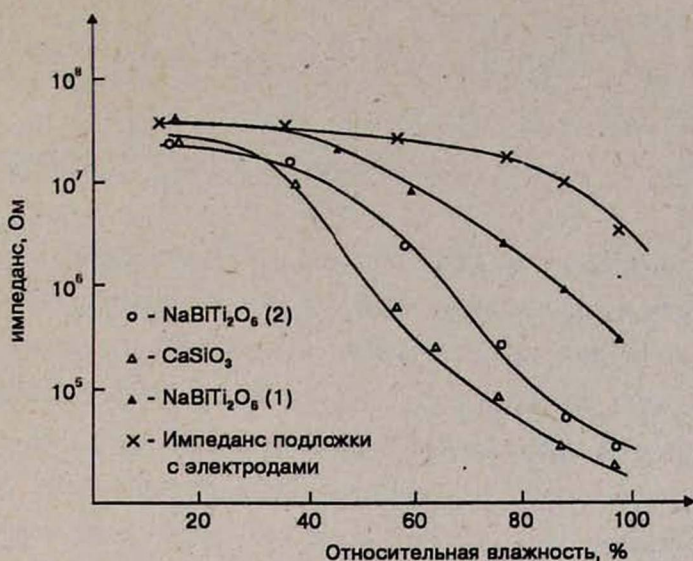


Рис.4. Зависимость импеданса на частоте 1 кГц тонкопленочных сенсоров от влажности.

Влагочувствительность пленок, охлажденных в воздухе сразу после напыления ($\text{NaBiTi}_2\text{O}_6$ (2)), намного превышает влагочувствительность пленок ($\text{NaBiTi}_2\text{O}_6$ (1)), охлажденных в герметичной камере установки электронно-лучевого испарения. В исследованном диапазоне относительной влажности 12-97% сопротивление сенсоров на основе пленок CaSiO_3 и $\text{NaBiTi}_2\text{O}_6$ на постоянном токе изменяется более чем на пять порядков. Для керамики $\text{NaBiTi}_2\text{O}_6$ изменение сопротивления в диапазоне относительной влажности 12-76 % составляет 3 порядка. Время 90%-ного отклика сенсоров на основе пленок CaSiO_3 и $\text{NaBiTi}_2\text{O}_6$ составляло не более 5 с и 10 с, соответственно. Гистерезис не превышал 3% относительной влажности для сенсоров на основе пленок CaSiO_3 и 2% относительной влажности (для отдельных образцов - 1%) для сенсоров на основе $\text{NaBiTi}_2\text{O}_6$ (2). В среднем для 15 исследованных сенсоров на основе $\text{NaBiTi}_2\text{O}_6$ (2) изменение сопротивления сенсоров в течение 1 месяца при относительной влажности 75,7 % не превышало 20%, что соответствует изменению относительной влажности на 2 %.

4. Анализируя полученные экспериментальные результаты можно отметить следующие особенности характеристик исследованных

пленочных сенсоров влажности:

а) большое отличие влагочувствительности пленок $NaBiTi_2O_6(1)$ и $NaBiTi_2O_6(2)$;

б) пологие участки зависимостей $Z = f(\varphi)$ в области низких влажностей.

В керамических сенсорах ионного типа уменьшение полного сопротивления чувствительного элемента при увеличении относительной влажности обусловлено физической адсорбцией и конденсацией в микрокапиллярах молекул воды [5]. Адсорбция воды на поверхности окисла начинается с образования тонкого гидроксильного слоя, химически связанного с окислом, на котором затем продолжается физическая адсорбция молекул воды. В образовавшемся втором слое молекула воды дипольно связана с двумя гидроксильными группами первого слоя и поэтому жестко "привязана" к поверхности. В последующих же слоях молекулы воды имеют слабые связи с окружающими слоями и могут свободно двигаться, обуславливая протонную проводимость. Большое влияние на влагочувствительные характеристики сенсоров на основе оксидов имеет пористость влагочувствительного материала [8]. Наличие пор приводит к специфической конденсации воды в порах – процессу, который теоретически описывается известным уравнением Кельвина. Капиллярная конденсация особенно значительна при высокой влажности (более 40 %). В сенсорах влажности ионного типа два процесса – физическая адсорбция и конденсация в порах – определяют изменение величины электрического импеданса чувствительного элемента.

Применение указанной модели влагочувствительности керамических сенсоров позволяет сделать предположение о причинах существенного отличия влагочувствительности сенсоров на основе пленок $NaBiTi_2O_6(1)$ и $NaBiTi_2O_6(2)$, изготовленных в одних и тех же технологических режимах. Как уже отмечалось, пленки $NaBiTi_2O_6(1)$ после напыления охлаждались в герметичной камере установки, а пленки $NaBiTi_2O_6(2)$ – в воздухе. Быстрое охлаждение в воздухе может быть причиной возникновения пор различных размеров и микротрещин и, следовательно, увеличения пористости пленок $NaBiTi_2O_6(2)$, что в свою очередь,

возможно, приводит к увеличению их влажочувствительности. Другой возможной причиной большей влажочувствительности пленок $\text{NaBiTi}_2\text{O}_6$ (2) может являться уменьшение кислородных вакансий (сенситизирующая роль кислорода в оксидах хорошо известна) при охлаждении в воздухе.

Сравнительный анализ параметров сенсоров влажности на основе различных материалов показывает перспективность создания микроэлектронных сенсоров влажности на основе тонких пленок $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{K}_2\text{O}$, CaSiO_3 и $\text{NaBiTi}_2\text{O}_6$. Они обладают высокой чувствительностью в достаточно широком диапазоне относительной влажности, малой инерционностью, малым значением гистерезиса. Недостатком сенсоров на основе пленок CaSiO_3 и $\text{NaBiTi}_2\text{O}_6$ является высокое сопротивление по постоянному току ($\sim 10^{10} - 10^{11}$ Ом) при низкой относительной влажности (менее 10 %), что приводит к сложности измерения. Этот недостаток может быть устранен при работе сенсоров на переменном токе. При этом исключаются также поляризационные явления, имеющие место при измерении на постоянном токе. Однако для получения высокой влажочувствительности также в области низкой влажности необходимо оптимизировать конструкцию сенсора с гребенчатыми электродами.

Из рис.4 следует, что импеданс сенсоров на частоте 1 кГц в области относительной влажности менее 20–30 % сравним с импедансом гребенчатой электродной структуры. Измерения, проведенные на постоянном и переменном токе, а также частотная зависимость импеданса сенсоров показывает, что для оксидных пленочных сенсоров в области относительной влажности 20–97% влажочувствительные свойства сенсоров определяются изменением емкости от влажности. Изменение активного сопротивления от относительной влажности намного больше (изменение составляет 4–5 порядков), чем изменение емкости (2–3 порядка), однако активное сопротивление сенсоров на несколько порядков превышает реактивное составляющее импеданса в указанном диапазоне относительной влажности, и последнее шунтирует импеданс сенсора при низких влажностях.

5. Для оптимизации конструктивных параметров тонкопленочных

высокоимпедансных сенсоров с целью расширения рабочего диапазона относительной влажности в сторону низких влажностей приведем расчет емкости гребенчатой структуры с влагочувствительным слоем, элементарная ячейка которой и ее эквивалентная схема представлены на рис.5.

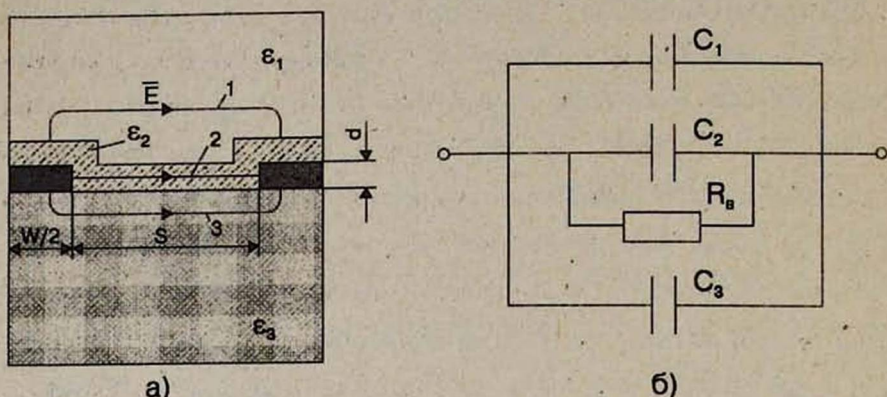


Рис.5. Элементарная ячейка гребенчатой структуры (а) и ее эквивалентная схема (б). Обозначения приведены в тексте.

Емкость гребенчатой структуры определяется выражением [9]

$$C_{Гр} = C_{я}(N-1)L, \quad (1)$$

где $C_{я}$ – погонная емкость элементарной ячейки гребенчатой структуры; N – количество гребенок; L – длина электродов. Для учета влияния емкости подложки и окружающего пространства выделим три группы силовых линий электрического поля в гребенчатом слоистом конденсаторе (рис.5): 1 – силовые линии, замыкающиеся через окружающую среду с диэлектрической проницаемостью ϵ_1 ; 2 – силовые линии, замыкающиеся через влагочувствительный слой с диэлектрической проницаемостью ϵ_2 ; 3 – силовые линии, замыкающиеся через подложку с диэлектрической проницаемостью ϵ_3 . Тогда в первом приближении емкость слоистого конденсатора можно представить в виде трех параллельно соединенных емкостей:

$$C_{я} = C_1 + C_{в} + C_3. \quad (2)$$

В отсутствие краевых эффектов сумма емкостей $(C_1 + C_3)$ определяется

выражением [9]

$$C_1 + C_3 = \frac{\varepsilon_1 + \varepsilon_3}{2} \cdot \frac{K(k')}{K(k)}, \quad (3)$$

где $K(k)$ и $K(k')$ – связанные полные эллиптические интегралы первого рода; $k = S / (S + W)$ и $k' = \sqrt{1 - k^2}$ – дополнительные модули; S и W – межэлектродное расстояние и ширина электродов, соответственно.

Емкость C_B , обусловленная влагочувствительным слоем, определяется аналогично емкости плоского конденсатора

$$C_B = \varepsilon_0 \varepsilon_2 d / S, \quad (4)$$

где d – толщина влагочувствительного слоя, равная толщине металлического электрода.

С учетом (3) и (4) для C_Y получим

$$C_Y = \varepsilon_0 \left(\frac{\varepsilon_1 + \varepsilon_3}{2} \cdot \frac{K(k')}{K(k)} + \varepsilon_2 \frac{d}{S} \right). \quad (5)$$

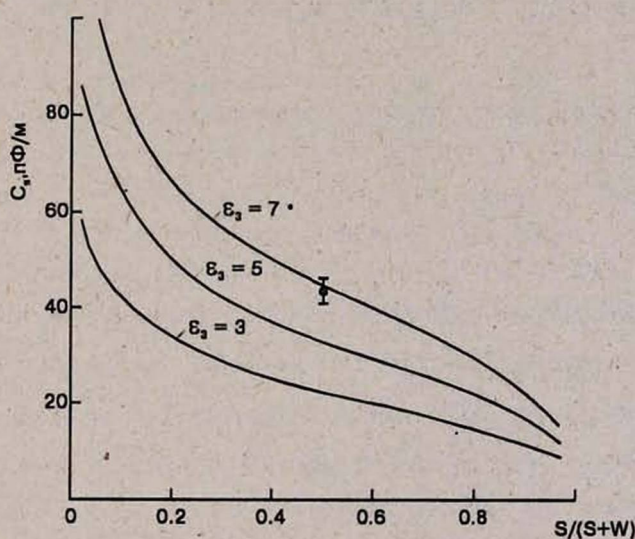


Рис.6. Расчетные зависимости емкости C_Y гребенчатой электродной структуры от соотношения $S / (S + W)$. $\bar{\Gamma}$ – Экспериментальные результаты.

На рис.6 приведены расчетные зависимости погонной емкости гребенчатой структуры без влагочувствительного слоя от величины

соотношения $S/(S+W)$ для подложек с различной диэлектрической проницаемостью. Полученное из экспериментальных результатов значение $(C_1 + C_3)$ хорошо совпадает с расчетной величиной при $S/(S+W)=0,5$, $\epsilon_3=7$ (для ситалла СТ-50-1 $\epsilon_3=5-8,5$ [10]). На рис.7 приведена расчетная зависимость погонной емкости C_B от межэлектродного расстояния (расчеты приведены при $\epsilon_2=50$, $d=0,3\text{мкм}$), откуда следует, что емкость влагочувствительного слоя существенно меньше емкости гребенки.

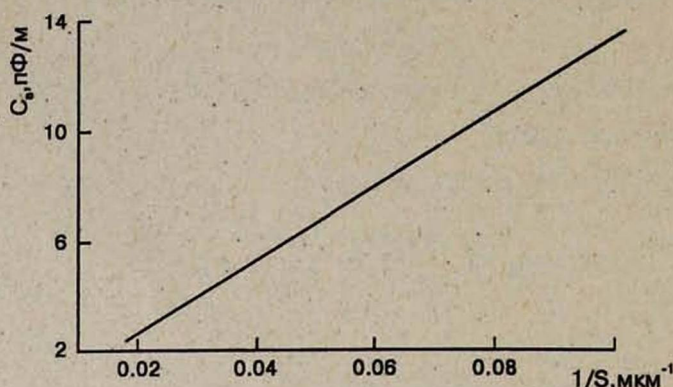


Рис.7. Расчетная зависимость емкости влагочувствительной пленки от межэлектродного расстояния. Расчеты проведены при $\epsilon_2=50$, $d=0,3\text{мкм}$.

Анализ выражений (1) + (5) показывает, что для расширения рабочего диапазона высокоимпедансных тонкопленочных сенсоров необходимо уменьшить емкость элементарной ячейки $C_{\text{я}}$ гребенчатой структуры с одновременным увеличением доли C_B в емкость $C_{\text{я}}$, что достигается путем применения подложки с низкой диэлектрической проницаемостью и влагочувствительного материала с высокой диэлектрической проницаемостью, уменьшением межэлектродного расстояния S с одновременным сохранением величины соотношения $S/(S+W)$, уменьшением частоты сигнала.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследованы основные характеристики (влагочувствительность, инерционность, гистерезис, стабильность) сенсоров влажности на основе

тонких пленок Fe_2O_3 с различным содержанием K_2O , а также на основе пленок $CaSiO_3$ и $NaBiTi_2O_6$ - новых материалов для сенсоров влажности. Найден оптимальный состав $Fe_2O_3(K)$ с точки зрения получения высокой влажочувствительности, быстродействия и линейности в широкой области относительной влажности. Определены критерии для оптимизации конструктивных параметров высокоимпедансных тонкопленочных сенсоров влажности. Сравнительный анализ параметров сенсоров влажности на основе различных материалов показывает перспективность создания микроэлектронных сенсоров влажности на основе тонких пленок $Fe_2O_3 \cdot K_2O$, $CaSiO_3$ и $NaBiTi_2O_6$.

ЛИТЕРАТУРА

1. А.И.Бутурлин, С.А.Крутоверцев, Ю.Д.Чистяков. Зарубежная электронная техника, №9, 3 (1984).
2. А.А.Чернышев, С.А.Крутоверцев, А.И.Бутурлин. Зарубежная электронная техника, №2, 3 (1987).
3. Б.И.Подлепецкий, А.Б.Симаков. Зарубежная электронная техника, №2, 64 (1987).
4. N.Yamazoe, Y.Shimizu. Sensors and Actuators, 10, 64 (1986).
5. H.Arai, T.Seiyama. In: Sensors. A comprehensive survey./ Ed. by W.Gopel et al., 3, 982 (1991).
6. Г.В.Абовян. Разработка и исследование полупроводниковых газочувствительных датчиков на основе висмут- и железосодержащих оксидов. Автореферат диссертации. Ереван, 1990.
7. A.S.Pogossian, H.V.Abovian, V.M.Haroutiunian et al. In: Book of Abstracts "Eurosensor - 6", p.166, San Sebastian, 1992.
8. H.T.Sun, M.T.Wu, P.Li et al. Sensors and Actuators, 19, 61 (1989).
9. W.Olthuis, W.Streekstra, P.Bergveld. In: Technical Digest of the Fifth International Meeting on Chemical Sensors, vol.1, p.328, Rome, 1994.
10. М.Ф.Пономарев. Конструкции и расчет микросхем и микроэлементов ЭВА. М.: Радио и связь, 1982.

INVESTIGATIONS OF MICROELECTRONIC HUMIDITY SENSORS MADE OF COMPOSITE OXIDES THIN FILMS

A.S.POGOSSIAN and V.M.AROUTIOUNIAN

Basic characteristics (the moisture sensitivity, lag, hysteresis and stability) of humidity sensors made of Fe_2O_3 thin films with different K_2O content, as well as $CaSiO_3$ and $NaBiTi_2O_6$ films, - new materials for the humidity sensors, are investigated.

A composition $Fe_2O_3(K)$ is found to be optimal with respect to high moisture sensitivity, speed of response, and a linearity in a wide range of the relative humidity. A mechanism of the moisture-sensitivity of films investigated is discussed. Criteria for the design parameters of the high-impedance humidity sensors are defined with the aim to broadening of the working range of the relative humidity in a side way of low values of the humidity.

ՄԻԿՐՈԷԼԵԿՏՐՈՆԱԹԻՆ ԲԱՐԴ ՕՔՍԻԴՆԵՐԻ ԲԱՐԱԿ
ԹԱՂԱՆԹՆԵՐԻ ՀԻՄԱՆ ՎՐԱ ՍՏԵՂԾՎԱԾ ԽՈՆԱՎՈՒԹՅԱՆ
ՏՎԻՉՆԵՐԻ ՀԵՏԱԶՈՏՈՒՄ

Ա.Ս.ՊՈՂՈՍԵԱՆ, Վ.Մ.ՀԱՐՈՒԹՅՈՒՆՅԱՆ

Հետազոտված են K_2O տարբեր բաղադրությամբ Fe_2O_3 բարակ թաղանթների, ինչպես նաև $CaSiO_3$ և $NaBiTi_2O_6$ խոնավության տվիչների համար մոր մյուսների հիման վրա ստեղծված խոնավության տվիչների հիմնական բնութագրերը՝ զգայնությունը խոնավության մկատմամբ, իներցիոնությունը, հիստերեզիսը, կայունությունը: Գտնված է բարձր խոնավության մկատմամբ զգայնության, արագագործության և հարաբերական խոնավության լայն տիրույթում զծայնության բարձր արժեքների տեսանկյունից $Fe_2O_3(K)$ -ի օպտիմալ բաղադրությունը: Բննարկված է հետազոտվող թաղանթների խոնավության մկատմամբ զգայնության մեխանիզմը: Բարձր ջերմաստիճանային խոնավության տվիչների պարամետրերի օպտիմիզացիայի համար չափանիշներ են որոշված մրանց հարաբերական խոնավության տիրույթի լայնեցման համար դեպի խոնավության ավելի ցածր արժեքները: