

исходит пространственное изменение дифракционной картины и формирование двухмерного дифракционного поля. На основе исследуемых структур был собран по матричной технологии

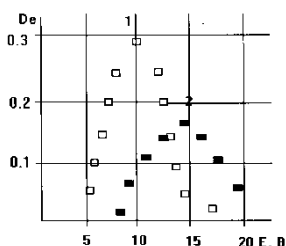


Рисунок 3 – Изменение эффективности первых двух порядков дифракции излучения на исследуемой LC-структуре

УДК 51-73

РАЗРАБОТКА ДВУХСЕНСОРНОЙ ГАЗОВОЙ МИКРОСИСТЕМЫ НА ПОДЛОЖКАХ ИЗ ПОРИСТОГО АНОДНОГО ОКСИДА АЛЮМИНИЯ

Реутская О.Г.¹, Таратын И.А.¹, Хатько В.В.²

¹ОАО Минский НИИ радиоматериалов, Минск, Республика Беларусь

²Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь

Одним из перспективных решений, применяемых для повышения селективности газовых сенсорных систем, является создание матриц из сенсоров (мультисенсорные системы), имеющих различные физические свойства и (или) параметры чувствительного слоя. Изготовление модуля химических сенсоров на одном кремниевом кристалле (Lab-on-a-chip) является одним из перспективных направлений в развитии газовой сенсорики. Целью работы является разработка конструкции и технологии изготовления, а также исследование 2-х сенсорной газовой микросистемы на диэлектрической подложке из пористого анодного оксида алюминия. Ожидается, что мультисенсорная микросистема, выполненная с использованием диэлектрической подложки на основе нанопористого анодного оксида алюминия, устранит все отмеченные недостатки прототипов и повысит чувствительность и селективность микросистемы к детектируемым газам [1].

На рис. 1 представлена топология 2-х сенсорной газовой микросистемы. Ее отличие от ранее разработанной 4-х сенсорной микросистемы [2] состоит в размещении платиновых нагревателя и информационных электродов на разных сторонах подложки. Электроды и чувствительный слой на основе $\text{SnO}_2+1,5\%\text{Pt}+1,5\%\text{Pd}$ на планарной стороне подложки, нагреватель в виде мандра – на обратной. Платиновые электроды для снятия сигнала с полупроводникового чувствительного слоя имеют зазор 90 мкм. Толщина платиновых электродов к чувствительному слою составляет 0,5 мкм. Ширина нагревателя

пространственный модулятор (16x16). По сравнению с обычными матричными LC-модуляторами наблюдается увеличение пороговых характеристик и уменьшение времени релаксации LC-слоя в исходное состояние.

1. Kiefer, K. In-Plane Switching of nematic liquid crystals //Pros.:Display 92.-Japan.-1992.-P.547-552.
2. Oh-e M. Principles and Characteristics of Electro-optical Behaviour with in-Plane Switching Mode //Pros.:Asia Display 95.-1995.-P.577-581.
3. De Gennes P.G. The physics of liquid crystals.-M.:World, 1977.-167с.
4. Блинов, Л.М. Электро- и магнитооптика жидких кристаллов / Л.М. Блинов -М.: Наука, 1978. – 175 с.

составляет 30 мкм. Кристалл микросистемы, изготовленный на подложке нанопористого анодного оксида алюминия (пористость ~ 15 %), имеет размер - 1,25x1,25 мм и толщину - 60 мкм. Размер площадки под одним чувствительным элементом составляет 275x200 мкм. Размер перфорированных окон - 115x520 мкм. Использование в топологии микросистемы сквозных отверстий, как и использование самой нанопористой диэлектрической подложки, призвано снизить потребляемую мощность газовой микросистемы за счет уменьшения объема контактирующего с нагревателем материала подложки и уменьшения коэффициента теплопроводности алюмооксидной подложки зависящего от ее пористости [3].

При изготовлении 2-х сенсорной микросистемы использовалась, разработанная в ОАО Минский НИИ радиоматериалов инновационная технология микромеханической обработки (micro-machining) нанопористого анодного оксида алюминия, которая раньше была использована при изготовлении 4-х сенсорной микросистемы.

Изготовленные кристаллы микросистемы были разварены в 6-ти выводной металлический корпус, для проведения в дальнейшем электрофизических измерений (рис. 2).

Исследование отклика сенсоров микросистемы на активный газ проводили на экспериментальном стенде, состоящем из измерительной ячейки, системы создания и поддержания заданной газовой среды в ячейке и приборов измерения электрических сигналов. В качестве поверочных газовых смесей (ПГС) использовали

газовые смеси с содержанием CO 0,02%, H₂ 0,001% и CH₄ 0,94 %. Контроль за ходом эксперимента осуществляли при помощи информации, фиксируемой измерительными приборами, микроконтроллерами потока газа газогенератора, передаваемой на персональный компьютер.

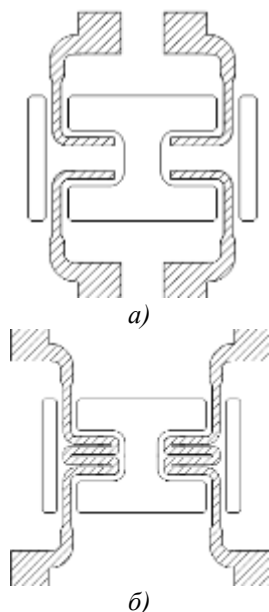


Рисунок 1 – Топология 2-х сенсорной газовой микросистемы со стороны информационных электродов (а) и нагревателя (б).



а)



б)

Рисунок 2 – Кристалл 2-х сенсорной газовой микросистемы с нанесенными чувствительными слоями (а) и микросистема разваренная в корпус (б)

Отклик сенсорной структуры к CO, H₂ и CH₄ снимали при потребляемой мощности 38 и

67 мВт. Величину сенсорного отклика определяли как разность между сопротивлением сенсора при воздействии активного газа (R_Г) и сопротивлением сенсора в воздухе (R_В). Чувствительность сенсора рассчитывалась как процентное отношение R_Г и R_В: $S = [(R_B - R_G)/R_B] \times 100\%$. На рисунке 3 приведен изотермический отклик одного из сенсоров к CO, H₂ и CH₄.

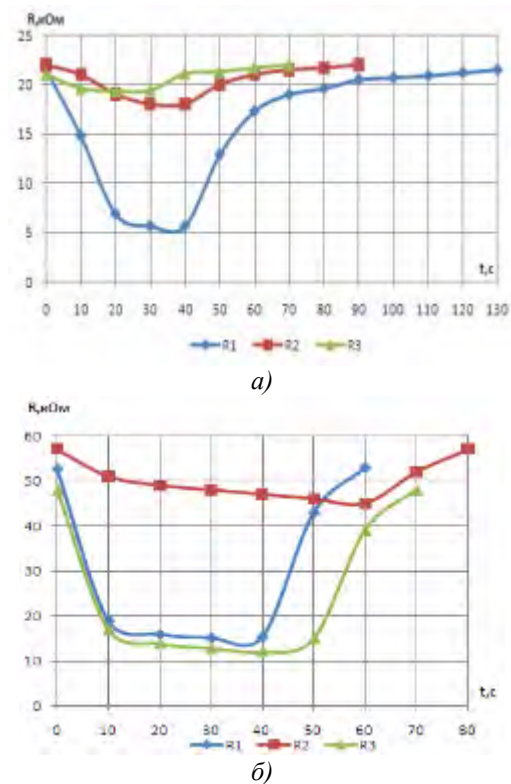


Рисунок 3 – Сенсорный отклик к CO, H₂ и CH₄ для R1, R2 и R3 соответственно при мощности а) – 38 мВт, б) – 67 мВт

Из рисунка 3б видно, что при подачи активного газа сенсорный отклик достигает максимальных значений в течении 10-20 с при потребляемой мощности сенсора в 67 мВт. При этом чувствительность сенсора к H₂, CO и CH₄ с указанными выше концентрациями составляет 21,1 %, 71,2 % и 75,0 %, соответственно. Восстановление исходных значений сопротивления сенсора при прекращении подачи активного газа ($t = 50$ с) происходит за 20 с.

1. Е.А. Белогуров, Я.И. Шукевич, В.В. Баркалин, В.В. Хатько, И.А. Таратын, Конструирование газовых микросистем на основе нанопористого анодного оксида алюминия // Приборы и методы измерений, 2011 г., №2. – С. 59-65.
2. О.Г. Реутская, Е.А. Белогуров, И.А. Таратын, В.В. Хатько. Четырех сенсорная газовая микросистема на подложке из пористого анодного оксида алюминия: конструкция,

технология, моделирование // Приборы и методы измерений, 2013 г., №2 (7). – С. 47-51.
 3. В.В. Баркалин, Е.А. Белогуров, И.А. Таратын, В.В. Хатько, Я.И. Шукевич, Конечно-

элементное моделирование термомеханических свойств нанопористых материалов // Нано- и микросистемная техника. – 2012. – № 1. – С. 18-24.

УДК 535.36.

ЭФФЕКТИВНЫЙ АЛГОРИТМ ВЫЧИСЛЕНИЯ СПЕЦИАЛЬНЫХ ФУНКЦИЙ ВТОРОГО РОДА И ЕГО ПРИЛОЖЕНИЕ К РЕШЕНИЮ ПРОБЛЕМ ОПТИКИ ДИСПЕРСНЫХ СРЕД

Роговцов Н.Н.

*Белорусский национальный технический университет
 Минск, Республика Беларусь*

При решении разнообразных научно-технических проблем приходится сталкиваться с необходимостью построения корректных алгоритмов расчета различных специальных функций математической физики первого и второго родов. Использование рекуррентных формул для вычисления этих функций без учета общих математических свойств решений разностных уравнений (рекуррентные формулы позволяют находить частные решения таких уравнений при определенных дополнительных условиях) не всегда приводит к приемлемым по точности результатам. Это наиболее характерно для случая специальных функций, соответствующих большим значениям индексов.

Одним из наиболее эффективных методов расчета целого ряда указанных функций является использование теорий разностных уравнений, непрерывных дробей и алгоритма, предложенного в работах [1, 2]. Данный алгоритм позволяет эффективно решать характеристические уравнения теории переноса излучения. Аналитический алгоритм решения таких уравнений для случая фазовой функции, удовлетворяющей условию Гельдера, был рассмотрен в работе [1]. В работе [2] были построены качественная математическая теория и алгоритмы решения данных уравнений для квадратично суммируемых фазовых функций.

Кратко изложим алгоритм отыскания специальных функций второго рода такого вида:

$$\tilde{Q}_{s,m}(v) = \int_{-1}^1 \frac{P_{s,m}(\mu)}{1 - i v \mu} d\mu, \quad (1)$$

$s \in \{0, 1, 2, \dots\} = N_0, m \in \{0, \dots, s\}$.

Здесь i - мнимая единица; $P_{s,m}(\mu)$ - присоединенная функция Лежандра; v - число, которое не принадлежит подмножеству $[-i\infty, -i] \cup [i, +i\infty]$ замкнутой комплексной плоскости.

Используя (1) и рекуррентные формулы для присоединенных функций Лежандра [3], можно доказать, что последовательность

$$\left\{ \tilde{Q}_{s,m}^{(0)}(v) \right\}_{s \in \{m, m+1, \dots\}},$$

где $m \in N_0$, является решением следующей бесконечной системы линейных алгебраических уравнений:

$$\begin{cases} i v \tilde{Q}_{m+1,m}(v) = (2m+1) \tilde{Q}_{m,m}(v) - \int_{-1}^1 P_{m,m}(\mu) d\mu, \\ 2i v \tilde{Q}_{m+2,m}(v) + i v (2m+1) \tilde{Q}_{m,m}(v) = (2m+3) \tilde{Q}_{m+1,m}(v), \\ 3i v \tilde{Q}_{m+3,m}(v) + i v (2m+2) \tilde{Q}_{m+1,m}(v) = (2m+5) \tilde{Q}_{m+2,m}(v), \\ \dots \end{cases} \quad (2)$$

Данная система, когда $v \notin [-i\infty, -i] \cup [i, +i\infty]$, имеет $\forall m \in N_0$ единственное решение в классе последовательностей $\{y_l\}_{l \in N_0}$, удовлетворяющих

$$\text{условию } \sum_{l=0}^{+\infty} (2(m+l)+1) \frac{l!}{(l+2)!} |y_l|^2 < +\infty.$$

Именно в этом классе и будет далее выписано строгое аналитическое решение бесконечной системы линейных алгебраических уравнений (2).

На основе подхода, развитого в работах [1,2], и использования свойств инвариантности формы систем типа (2) [4] можно показать, что единственное решение системы (2) в указанном выше классе имеет такой вид:

$$\tilde{Q}_{m+l,m}(v) = \left((2m+1) \wp_0(v^2; m; 0) \right)^{-1} \cdot \frac{(2m)! m!!}{2^{m-1} m! (m+1)!} \xi_m \Psi_l(v; m; 0), m, l \in N_0. \quad (3)$$

В (3) величины имеют следующий смысл:

$$\xi_m = 1, \text{ когда } m \in \{0, 2, 4, 6, \dots\}, \text{ и } \xi_m = \left(\frac{\pi}{2} \right), \text{ если}$$