

М.А. Анкуда, ст. преп. (БГТУ г. Минск)

И. О. Оробей, доц., канд. техн. наук (БГТУ г. Минск)

В. В. Сарока, доц., канд. техн. наук (БГТУ г. Минск)

М.К. Анкуда, ассист. (БГТУ г. Минск)

ИЗМЕРИТЕЛЬ КОНЦЕНТРАЦИИ ГАЗОВЫХ СМЕСЕЙ ПРИ НАЛИЧИИ ШУМОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

В полупроводниковых газоанализаторах используется эффект изменения электрического сопротивления некоторых полупроводниковых материалов (поверхностей монокристаллов, пленок), возникающего вследствие адсорбции газа.

Для любого процесса измерения необходимо учитывать все возможные факторы, которые будут влиять на шумовые характеристики измерительной схемы. Что позволит оптимизировать процесс обработки данных.

Для полупроводникового чувствительного элемента, выходным параметром которого является сопротивление, при расчете шумов необходимо в первую очередь учесть тепловой и генерационно-рекомбинационный шум. При этом сам сенсор можно представить в виде шумящего резистора.

Спектральная плотность теплового шума для образца с активным сопротивлением R может быть определена [1]:

$$S_T = 4 \cdot k \cdot T \cdot R,$$

где k – постоянная Больцмана ($k = 1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К), T – абсолютная температура.

Тогда напряжения источника теплового шума будет определяться

$$U_T = \sqrt{S_T \cdot \Delta f} = \sqrt{4 \cdot k \cdot T \cdot R \cdot \Delta f},$$

где Δf – полоса частот, пропускаемая схемой

В полупроводниковых приборах наблюдается шум, создаваемый флуктуациями скоростей генерации и рекомбинации носителей, что приводит к флуктуациям концентрации свободных носителей. Рекомбинация и генерация носителей заряда приводит к флуктуациям в полупроводнике концентрации свободных носителей, и как следствие, к флуктуациям проводимости (сопротивления) образца и к возникновению генерационно-рекомбинационного шума.

При протекании тока I через полупроводник с флуктуирующим числом носителей N энергетический спектр генерационно-рекомбинационного шума определяется выражением [2]:

$$S_{GR} = \frac{4 \cdot I^2}{N_0^2} \cdot \sqrt{\Delta N^2} \cdot \frac{\tau}{1 + \omega^2 \cdot \tau^2},$$

где N_0 – среднее равновесное число носителей в образце; ΔN – усредненная величина квадрата флуктуаций числа носителей, τ – среднее время жизни носителей в полупроводнике, $\omega = 2\pi f$ – циклическая частота.

Приняв, что отдельные процессы генерации и рекомбинации носителей являются независимыми, тогда для числа носителей N будем иметь распределение Пуассона, для которого $\sqrt{\Delta N^2} = N_0$ и $\beta = 1$, а значит спектральная плотность примет вид:

$$S_{GR} = \frac{4 \cdot I^2}{N_0} \cdot \frac{\tau}{1 + \omega^2 \cdot \tau^2}.$$

Тогда напряжения источника генерационно-рекомбинационного шума будет определяться:

$$U_T = \sqrt{S_{GR} \cdot \Delta f} = \sqrt{\frac{4 \cdot I^2}{N_0} \cdot \frac{\tau}{1 + \omega^2 \cdot \tau^2} \cdot \Delta f}.$$

Поскольку датчик будет подключаться к измерительной схеме, то результирующая погрешность будет изменяться в зависимости от выбранной схемы преобразователя.

В качестве базовой схемы на основе операционного усилителя была предложена схема дифференциального усилителя, которая была выполнена на операционном усилителе M_9 (DA1) (см. рис. 1).

На вход операционного усилителя подаются напряжения U' и U'' , которые можно представить синфазной $U_{\text{сф}} = \frac{U' + U''}{2}$ и дифференциальной составляющей $U_D = U' - U''$.

В общем виде выходное напряжение можно представить в виде

$$U_{\text{out}} = K_D \cdot U_D + K_{\text{сф}} \cdot U_{\text{сф}}.$$

В случае равенства сопротивлений $K_{\text{сф}} = 0$, а

$$K_D = -\frac{R + \Delta R}{R}.$$

Если учесть, что напряжения на входах ОУ совпадают и равны половине напряжения питания, то выходное напряжение можно будет определить:

$$U_{\text{out}} = \frac{U_{\text{пит}}}{2} - \frac{U_{\text{пит}}}{2R} \cdot (R + \Delta R) = -\frac{U_{\text{пит}}}{2} \cdot \frac{\Delta R}{R}.$$

Принципиальная электрическая схема измерителя концентрации многокомпонентных газовых смесей приведена на рис. 1.

Первичный полупроводниковый преобразователь R_0 содержит резистивный слой допированного оксида олова, который имеет чувствительность по проводимости $\Delta\sigma/\sigma \cdot 100 = 20\%/ppm$ к газовой смеси.

Начальное сопротивление R_0 при отсутствии адсорбирующих газов лежит в пределах 300 ± 50 кОм. Сопротивления $R_{12} - R_{14}$ дифференциального усилителя, который выполнен на M_9 , будут равны начальному значению сопротивления R_0 .

Сопротивление на R_0 , обратно пропорциональное концентрации измеряемого газа, формирует выходное напряжение дифференциального усилителя, которое поступает на $\Delta - \Sigma$ аналого-цифровой преобразователь (а.ц.п.). А.ц.п. M_2 сконфигурирован как 16 разрядный в диапазоне $0 - 1,25$ В с источником опорного напряжения M_1 , генератор на M_3 , M_{4-2} , монитор питания со сторожевым таймером M_5 , однокристалльный микроконтроллер с памятью программ M_6 , индикатор M_7 , приемопередатчик сигналов интерфейса RS-232 M_8 и оптоэлектронный переключатель режимов работы на $D_5 - D_7$, $T_1 - T_4$.

Циклы работы блока синхронизирует программный таймер микроконтроллера M_6 . Он управляет работой и считывает данные с а.ц.п., обрабатывает результаты, передает информацию в индикатор, сбрасывает сторожевой таймер, активирует переключатель и считывает его состояние, формирует и принимает сигналы по RS-232 [3]. Максимальное значение сопротивления R_0 заносится в память контроллера M_6 при калибровке устройства. Программное обеспечение контроллера учитывает паразитное перекрестное влияние компонент газов на результаты измерения (. Результаты измерений и служебная информация отображаются на индикаторе и передаются по RS-232.

Таким образом, был получен первичный измерительный преобразователь на основе полупроводникового пленочного сенсора, который позволяет производить измерения концентрации многокомпонентной газовой смеси в условиях шума.

ЛИТЕРАТУРА

1. Карпович, Д. С. Измерительные схемы пленочных сенсоров / Д.С. Карпович, М.А. Анкуда // Химическая технология и техника: материалы 87-й научно-технической конференции профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов, Минск, 31 января - 17 февраля 2023 г. – Минск: БГТУ, 2023. – С. 273-275.
2. Хоровиц, П. Искусство схемотехники. / П. Хоровиц, У. Хилл; пер. с англ. Б. Н. Бронин [и др.]; – М.: Мир, 2003. – 704 с.
3. Оробей И.О., Сарока В.В., Гринюк Д.А., Олиферович Н.М., Анкуда М.А. Анализатор содержания NH_3 и CO // Труды БГТУ. Сер. 3, Физико-математические науки и информатика. 2022. № 1 (254). С. 50–57.