

Эти свойства позволяют рекомендовать их для контроля H_2S в воздухе рабочих и жилых зон.

Выводы

- На основании исследований процесса растворения висмутсодержащих соединений ($Bi_{12}GeO_{20}$, $Bi_4Ge_3O_{12}$) в ортофосфорной кислоте предложен способ получения газочувствительных гетероструктур, заключающийся:
 - в проведении процесса травления висмутсодержащего образца в H_3PO_4 для получения осадка заданной толщины с достаточным уровнем адгезии и высоко развитой поверхностью;
 - в модифицировании полученного нерастворимого продукта 12-молибдофосфатом аммония путем формирования его в объеме осадка.

- Определены хорошие газочувствительные свойства по отношению к парам воды и аммиака.
- Установлена высокая селективность полученной гетероструктуры к сероводороду по сравнению с парами воды и аммиаком, ее высокие метрологические характеристики (широкий интервал линейности, хорошая воспроизводимость результатов ($S_r = 0,05$), предел обнаружения — 5 мкг/м^3 для сероводорода), низкие значения времени отклика (15 с) и релаксации (10 с), что позволяет рекомендовать указанные структуры для использования в качестве сенсорных элементов при определении сероводорода в воздухе рабочих зон.

Список литературы

1. Мясников Н. А., Сухарев В. Я., Куприянов Л. Ю., Завьялов С. А. Полупро-

водниковые сенсоры в физико-химических исследованиях, М.: Наука. 1991. 327 с.

2. Hargis L. G. A spectrophotometric Reaction Rate Method for Determination of Bismuth Using a Dimetric Heteropolymolybdate // Analytical chemistry. 1969. V. 41. N 4. P. 597—599.

3. Mamoru Ai. Characteristics of heteropoly compounds as catalysts for selective oxidation // Journal Catal. 1981. V. 71. N 1. P. 88—98.

4. Awad A. M., Abd El-Salaam K. M. Action of salt formation on the bifunctional nature of 12-molybdophosphoric acid and their relationship to the catalytic activity // Croat. chem. acta. 1987. V. 60. N 4. P. 677—686.

5. Защитные пленки на солях. / Под ред. А. В. Николаева, АН СССР. 1944. 48 с.

6. Горюновский И. Т., Назаренко Ю. П., Некряч Е. Ф. Краткий справочник по химии. Киев: Наукова думка. 1974. 820 с.

7. Ando M., Suto S., Suzuki T. и др. H_2S and CH_3SH sensor using a thick film of gold-loaded tungsten oxide // Chemistry Letters. 1994. N 2. P. 335—338.

8. Кисин В. В., Сысоев В. В., Воронцов С. А., Симаков В. В. и др. Металлоокисный датчик токсичных газов. // Тез. 1 Поволж. науч.-техн. конференции. 1995. Ч. 2. С. 55—56.

УДК 531.787.084.2

А. А. Федосеев,
ФГУП Научно-исследовательский институт
физических измерений (г. Пенза)

КРЕМНИЕВЫЙ ЧУВСТВИТЕЛЬНЫЙ ЭЛЕМЕНТ ДЛЯ ДАТЧИКОВ ДАВЛЕНИЯ СО ВСТРОЕННОЙ СХЕМОЙ ТЕРМОКОМПЕНСАЦИИ ПАРАМЕТРОВ

Описывается метод настройки полупроводникового чувствительного элемента для датчиков абсолютного и избыточного давлений с помощью расположенных непосредственно на чувствительном элементе металлопленочных резисторов, номинал которых формируется с использованием лазера.

Одна из главных задач, стоящих перед разработчиком датчиков-преобразующей аппаратуры (ДПА) в настоящее время, заключается в снижении габаритных размеров изделия при одновременном повышении качества. Главными направлениями в решении этой задачи являются использование полупроводниковой технологии при изготовлении чув-

ствительного элемента (ЧЭ) ДПА и настройка его выходных характеристик (температурной стабилизации начального выходного сигнала и чувствительности, нормирование номинального выходного сигнала и др.). Изготовление ЧЭ из кремния с монокремниевыми тензорезисторами достаточно хорошо освоено [1], однако настройка выходных параметров часто проводится с помощью навесных дополнительных элементов, использование которых увеличивает габаритные размеры изделия и его стоимость.

В НИИ физических измерений были разработаны конструкция и технология изготовления полупроводникового интегрального ЧЭ для датчиков абсолютного и избыточного давлений (ЧЭ представляет собой кремниевый кристалл, соединенный со стеклянним основанием электростатическим способом), топология которого приведена на рис. 1, а. ЧЭ содержит монокремниевые тензорезисторы $R1-R4$, расположенные в областях наибольших поверхностных напряжений на мембране, терморезистор $R5$, нечувствительный к прикладываемому давлению, а также многослойные металлопленочные резисторы [2] $R6-R9$ из сплава $X20H75Ю + MP47BP$ с поверхностным удельным сопротивлением 50 Ом/□ , расположенные на пе-

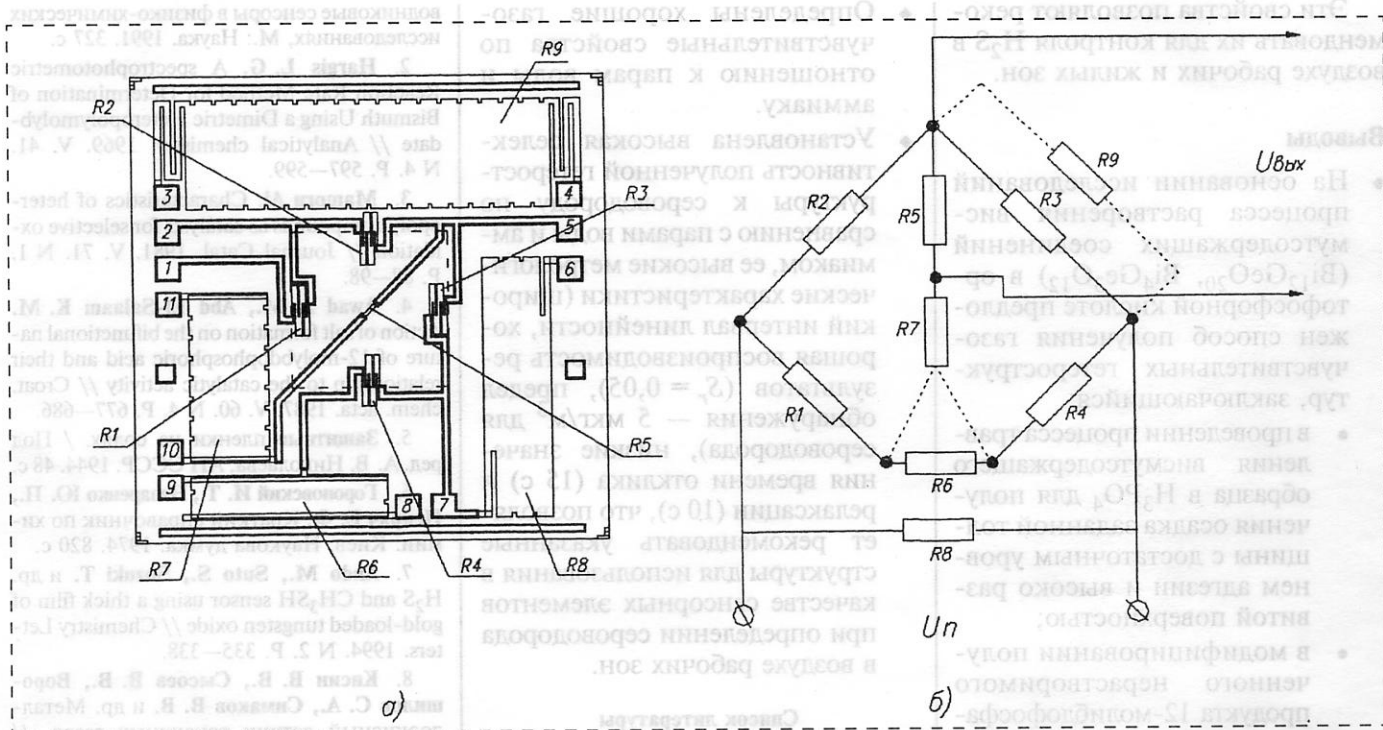


Рис. 1. Топология и электрическая схема ЧЭ

риферии ЧЭ, с помощью которых создается пассивная схема компенсации температурных погрешностей и нормирования выходного сигнала.

Электрическая схема датчика на основе такого ЧЭ представлена на рис. 1, б.

Принцип настройки ЧЭ основан на расчете необходимых номиналов резисторов R_6 – R_9 и последующем их формировании путем подгонки лазером.

Разработанная технология производства ЧЭ представляет собой синтез полупроводниковой и металлопленочной технологий (напыление многослойного резистивного сплава на оксид кремния, формирование тонкопленочных резисторов и подгонка лазером их номиналов на кремниевом кристалле), применение которых позволяет создать ЧЭ датчиков давления, характеризующихся высокой чувствительностью (которая обеспечивается монокремниевыми тензорезисторами) и высокой температурной стабильностью (за счет стабильности металлопленочных резисторов, имеющих температурный коэффициент сопротивления порядка $5 \cdot 10^{-6} 1/^\circ\text{C}$).

Ниже приводится последовательность настройки описываемого ЧЭ [3].

Исходные значения номиналов резисторов (после изготовления ЧЭ), Ом:

R_1 – R_4	400–500
R_5	3000–5000
R_6	5–20
R_7	70–130
R_8	800–1200
R_9	3000–5000

На первом этапе работ осуществляются балансировка и обеспечение температурной стабильности начального выходного сигнала с помощью резисторов R_6 и R_9 . Определяются температурные коэффициенты тензорезисторов в диапазоне рабочих температур ЧЭ по формуле

$$\gamma_i = \frac{R_{i\max} - R_{i\min}}{R_{i\min} \Delta T}, \quad (1)$$

где $R_{i\max}$ — сопротивление тензорезистора R_i при максимальной температуре, Ом; $R_{i\min}$ — сопротивление тензорезистора R_i при минимальной температуре, Ом; ΔT — диапазон температур, $^\circ\text{C}$.

Далее определяются контрольные соотношения температурных коэффициентов сопротивлений по формулам:

$$C_1 = \frac{\gamma_1 + \gamma_3 - \gamma_2}{\gamma_4}; \quad (2)$$

$$C_2 = \frac{\gamma_2 + \gamma_4 - \gamma_1}{\gamma_3}; \quad (3)$$

$$C_3 = \frac{\gamma_3 + \gamma_1 - \gamma_4}{\gamma_2}; \quad (4)$$

$$C_4 = \frac{\gamma_4 + \gamma_2 - \gamma_3}{\gamma_1}; \quad (5)$$

Контрольные соотношения температурных коэффициентов	Номер плеча для установки		Формулы для расчета		
	R6	R9	K	R6	R9
$C_1 > C_5$ $C_4 > C_5$	1	4	$\frac{\gamma_3 - \gamma_2}{2\gamma_4} + \sqrt{\left(\frac{\gamma_3 - \gamma_2}{2\gamma_4}\right)^2 + \frac{R_1 R_3 \gamma_1}{R_2 R_4 \gamma_4}}$	$\frac{R_2 R_4}{R_3} K - R_1$	$R_4 \frac{K}{1 - K}$
$C_1 > C_6$ $C_4 > C_6$	4	1	$\frac{\gamma_2 - \gamma_3}{2\gamma_1} + \sqrt{\left(\frac{\gamma_2 - \gamma_3}{2\gamma_1}\right)^2 + \frac{R_2 R_4 \gamma_4}{R_1 R_3 \gamma_1}}$	$\frac{R_1 R_3}{R_2} K - R_4$	$R_1 \frac{K}{1 - K}$
$C_4 < C_5$ $C_2 < C_6$	1	3	$\frac{\gamma_2 + \gamma_4}{\gamma_3 + \gamma_1 R_1 R_3 / R_2 R_4}$	$\frac{R_2 R_4}{R_3 K} - R_1$	$R_3 \frac{K}{1 - K}$
$C_1 < C_6$ $C_3 < C_5$	4	2	$\frac{\gamma_1 + \gamma_3}{\gamma_2 + \gamma_4 R_2 R_4 / R_1 R_3}$	$\frac{R_1 R_3}{R_2 K} - R_4$	$R_2 \frac{K}{1 - K}$
$C_4 > C_5$ $C_3 > C_5$	1	2	$\frac{\gamma_3 - \gamma_4}{2\gamma_2} + \sqrt{\left(\frac{\gamma_3 - \gamma_4}{2\gamma_2}\right)^2 + \frac{R_1 R_3 \gamma_1}{R_2 R_4 \gamma_4}}$	$\frac{R_2 R_4}{R_3} K - R_1$	$R_2 \frac{K}{1 - K}$
$C_1 > C_6$ $C_2 > C_6$	4	3	$\frac{\gamma_2 - \gamma_1}{2\gamma_3} + \sqrt{\left(\frac{\gamma_2 - \gamma_1}{2\gamma_3}\right)^2 + \frac{R_2 R_4 \gamma_4}{R_1 R_3 \gamma_3}}$	$\frac{R_1 R_3}{R_2} K - R_4$	$R_3 \frac{K}{1 - K}$

$$C_5 = \frac{R_1 R_3}{R_2 R_4}; \quad (6)$$

$$C_6 = \frac{R_2 R_4}{R_1 R_3}. \quad (7)$$

С учетом контрольных соотношений определяются расчетные значения резисторов $R6$ и $R9$, а также номера плеч, в которые их необходимо включить ($R6$ — последовательно, а $R9$ — параллельно). Соотношения и расчетные формулы приведены в таблице.

После расчета осуществляется подгонка номиналов на лазерной установке [4] согласно рис. 2.

Топологии резисторов рассчитаны таким образом, чтобы в ходе подгонки получать номиналы для резистора $R9$ в диапазоне 3000—45000 Ом, а

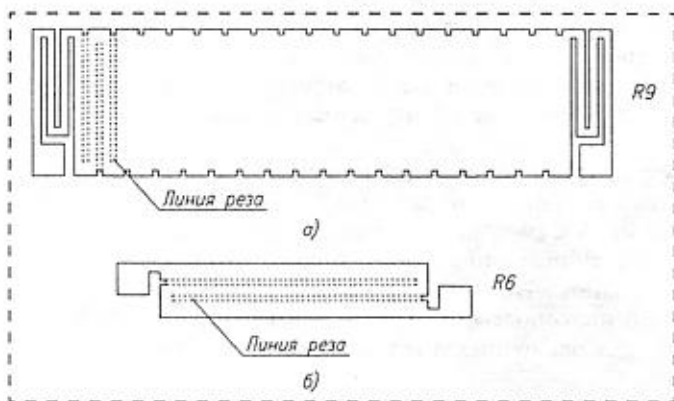


Рис. 2. Топологии резисторов $R9$ и $R6$ и их подгонка

для резистора $R6$ — в диапазоне 10—200 Ом. После подгонки резисторы включаются в схему.

На втором этапе работ осуществляется компенсация температурной погрешности чувствительности и нормирование номинального выходного сигнала с помощью резисторов $R7$ и $R8$, а также терморезистора $R5$.

Расчетное значение резистора $R7$ определяется по формуле

$$R_7 = \frac{U_{\text{ном. min}} R_{5 \text{ min}} (R_{5 \text{ max}} - R_{5 \text{ min}}) - U_{\text{ном. max}} R_{5 \text{ max}} (R_{5 \text{ min}} + R_{5 \text{ min}})}{U_{\text{ном. max}} R_{5 \text{ max}} - U_{\text{ном. min}} R_{5 \text{ min}}}, \quad (8)$$

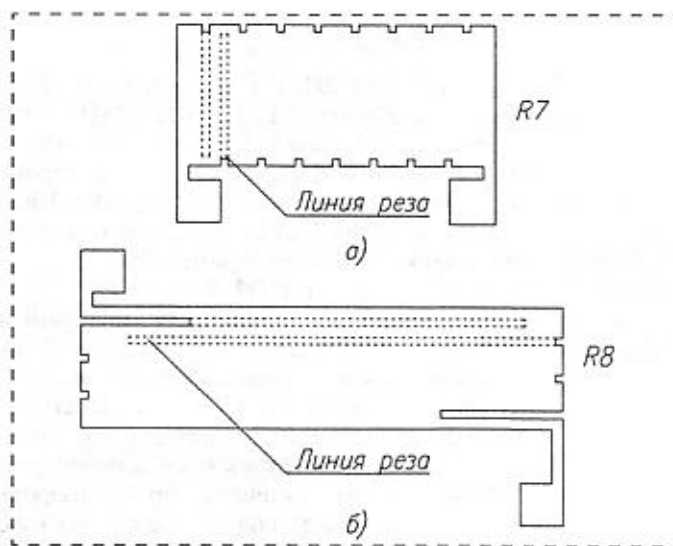


Рис. 3. Топологии резисторов $R7$ и $R8$ и их подгонка

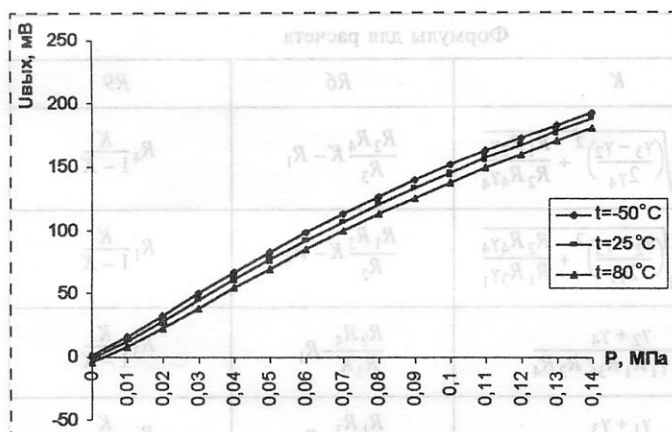


Рис. 4. Градуировочные характеристики ЧЭ после настройки

где $U_{\text{ном.мин}}$, $U_{\text{ном.мах}}$ — номинальный выходной сигнал при минимальной и максимальной температурах рабочего диапазона, мВ; $R_{5\text{мин}}$, $R_{5\text{мах}}$ — сопротивления терморезистора R_5 при минимальной и максимальной температурах рабочего диапазона, Ом; $R_{\text{вых.мин}}$, $R_{\text{вых.мах}}$ — выходные сопротивления мостовой схемы при минимальной и максимальной температурах рабочего диапазона.

Номинал резистора R_8 определяется путем его имитации магазином сопротивлений, включенном в схему согласно рис. 1 (номинал подбирается для установления номинального выходного сигнала при номинальном давлении).

После определения необходимых значений сопротивлений R_7 и R_8 их подгонка осуществляется согласно рис. 3.

Топологии резисторов рассчитаны таким образом, чтобы в ходе подгонки получать номиналы для резистора R_7 в диапазоне 100—3000 Ом, а для

резистора R_8 — в диапазоне 1000—10000 Ом. После подгонки резисторы включаются в схему.

На рис. 4 приведены градуировочные характеристики настроенного ЧЭ при различных температурах (толщина мембраны кристалла 20 мкм).

Настроенный ЧЭ имеет следующие характеристики:

- начальный выходной сигнал ± 5 мВ;
- температурный коэффициент начального выходного сигнала $0,025 \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ от номинального сигнала;
- температурный коэффициент чувствительности $0,027 \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$;
- погрешность номинального выходного сигнала $\pm 0,5 \text{ } \%$.

Достоинства описанного метода настройки в том, что он обеспечивает настройку ЧЭ непосредственно на кремниевом кристалле до сборки датчика и позволяет прогнозировать метрологические характеристики приборов на ранних стадиях изготовления. Одновременно снижаются габаритные размеры и стоимость датчиков за счет отказа от дополнительных настроечных резисторов.

Разработанная технология позволяет формировать любые дополнительные схемы настройки из высокостабильных металлопленочных резисторов непосредственно на кремниевых кристаллах или ЧЭ.

Список литературы

1. Ваганов В. И. Интегральные преобразователи. М.: Энергоатомиздат, 1983. 136 с.
2. Патент РФ № 1820416, Н 01 С 17/00 "Способ изготовления высокотемпературного тонкопленочного тензорезистора".
3. Сгибов А. П., Трухачев Б. С., Носовский А. В. Температурная компенсация ухода нуля мостового тензопреобразователя // Приборы и системы управления. 1975. № 11. С. 24—26.
4. Лобко Э. В., Лобко С. И., Сакун Л. В., Шулаков В. А. Расчет и лазерная подгонка номиналов прецизионных резисторов // Электронная промышленность. 1986. № 4. С. 34—35.

16 октября 2001 г. в Наноцентре состоялся семинар Института прикладной математики им. М. В. Келдыша РАН (ИПМ РАН), Института нанотехнологий Международного фонда конверсии, Московского государственного инженерно-физического института (технического университета) "Математическое моделирование процессов в нанотехнологиях и структурах" под председательством член-корр. РАН Ю. П. Попова.

На семинаре был сделан доклад на тему "Одностенные углеродные нанотрубки: синтез, физические свойства, применения". Докладчик Е. Д. Образцова (Центр естественно-научных исследований ИОФ РАН).

В докладе был охарактеризован новый наноструктурный углеродный материал — одностенные углеродные нанотрубки, дан обзор методов его синтеза и идентификации. Особое внимание уделено оптическим исследованиям нанотрубок (методами комбинационного рассеяния света и оптического поглощения) и возможности получения информации о структуре и электронных свойствах материала из оптических данных. Проанализирована возможность применения нанотрубок в качестве эффективного низковольтного эмиттера электронов и обсуждены технологические проблемы формирования пленочных углеродных катодов и изготовления источников света с такими катодами.