

УДК 62-181.48:539.216.2:546.28-31

С.П. Усов, Ю.В. Сахаров, П.Е. Троян

## Датчик газообразных углеводородов на основе пористой пленки $\text{SiO}_2+\text{C}$ нанометровой толщины

Рассмотрены газочувствительные свойства пористого диоксида кремния, полученного методом магнетронного распыления составной мишени кремний–углерод.

**Ключевые слова:** углерод, пористые пленки, диоксид кремния, чувствительный элемент.

### Введение

Высокочувствительные датчики углеводородов, особенно метана, являются актуальной практической задачей, от решения которой зависит безопасность ряда производств.

Структура металл–диэлектрик–металл (МДМ) после проведения формовки становится чувствительной к газам, особенно к углеводородам [1]. Однако такой чувствительностью обладают МДМ-структуры только в области низких давлений, т.е. если они находятся в вакуумном объеме при давлениях не более  $10^{-2}$  мм рт. ст. При атмосферном давлении такие структуры обладают низкой проводимостью и чувствительность их к углеводородам становится незначительной.

В данной работе описаны результаты исследований, позволяющих создать чувствительный элемент, способный работать при атмосферном давлении.

### Подготовка образцов и техника эксперимента

В процессе исследовались два варианта образцов: планарная структура и сэндвич МДМ-структура с пленкой диоксида кремния, легированной углеродом ( $\text{SiO}_2+\text{C}$ ).

В планарном варианте образец чувствительного элемента представляет собой полупроводниковую подложку с нанесенными на полированную поверхность электродами с зазором от 1 до 100 мкм (рис. 1). В область зазора наносится слой  $\text{SiO}_2+\text{C}$  с толщиной не более 100 нм. В этом случае проводимость между электродами определяется удельным сопротивлением полупроводника, а изменение ее проводимости связано с изменением ширины области пространственного заряда в полупроводнике, обусловленное адсорбцией газов в пленке  $\text{SiO}_2+\text{C}$ . В сэндвич структурах между двумя металлическими электродами располагается слой  $\text{SiO}_2+\text{C}$ . При этом верхний электрод должен иметь толщину 10–15 нм (рис. 2). Изменение электропроводности в такой структуре происходит за счет адсорбции газовых частиц на поверхности диэлектрика и в его объеме.

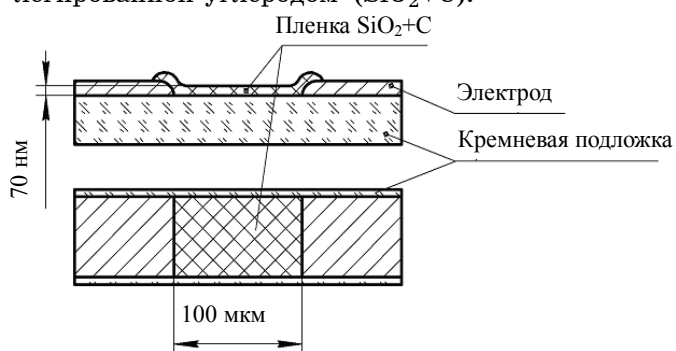


Рис. 1. Структура образца для исследования газочувствительных свойств на основе МДМ-системы

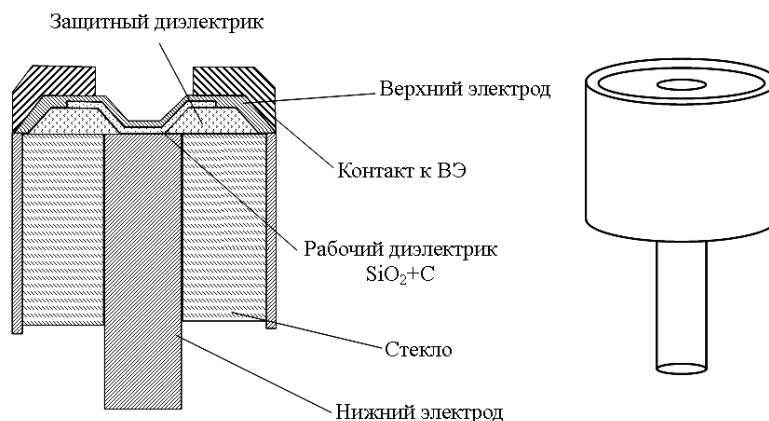


Рис. 2. Схематическое изображение готовой МДМ-структуры на подложке типа «кern»

Использование пленки диоксида кремния, легированного углеродом, обусловлено тем, что получаемая магнетронным распылением комбинированной мишени Si+C в среде смеси газов Ar+O<sub>2</sub> пленка SiO<sub>2</sub> имеет рыхлую пористую структуру [2]. Такая пленка способна адсорбировать большое количество газов, что является основой высокой чувствительности.

Техника измерения предусматривает размещение МДМ-структуры в герметичном объеме, куда через дозатор напускаются пары метана или других газов. Измерения проводятся на постоянном напряжении.

### Результаты экспериментов

#### Планарная структура

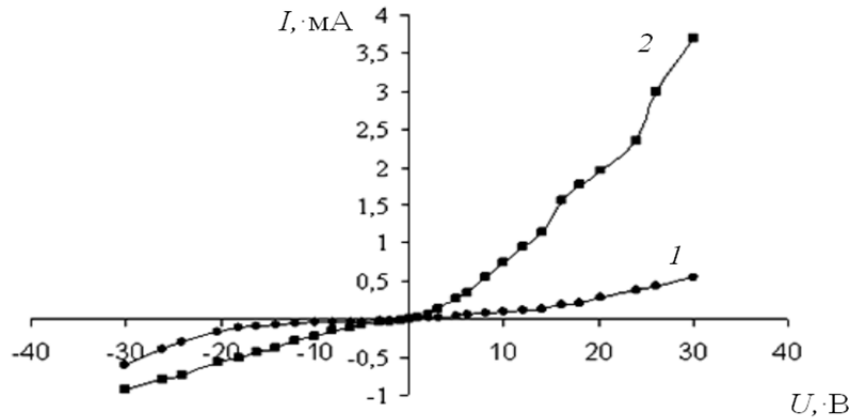


Рис. 3. Вольт-амперная характеристика планарной МДМ-структуры: 1 – на воздухе, 2 – при добавлении паров метана с концентрацией 5%

Из рис. 3 видно, что адсорбция молекул метана на поверхности плёнки приводит к увеличению её проводимости, которая существенно возрастает при напряжениях в десятки вольт, что является важным моментом, так как для зазора между электродами 0,1 мм напряжение не должно быть ниже 20–30 В для обеспечения достаточной напряжённости электрического поля.

Результаты зависимости тока через планарную МДМ-структуру от времени при различных напряжениях при добавлении паров углеводородов с объемной концентрацией равной 2,5% представлены в таблице.

U=30 В	I, мА	0,7	0,94	1,0	1,05	1,08	1,1	1,1
	t, с	0	10	20	35	55	90	120
U=35 В	I, мА	0,78	1,13	1,24	1,32	1,4	1,43	1,45
	t, с	0	10	20	35	55	90	120
U=50 В	I, мА	1,01	1,53	1,69	1,81	1,91	2,0	2,07
	t, с	0	10	20	35	55	90	120

Зависимость адсорбционного отклика ( $\Delta I/I$ ) на воздействие паров метана от времени при добавлении углеводородов с объемной концентрацией равной 2,5% представлена на рис. 4.

В первые 10 с следуют наибольшие изменения тока в структурах Al-SiO<sub>2</sub>+C-Al при воздействии на неё паров метана. Далее приращение тока снижалось, пока не достигло своего предельного постоянного значения. Активное изменение тока и адсорбционного отклика в первый момент времени скорее всего обусловлено большим наличием адсорбционных мест на поверхности плёнки. Со временем их количество убывает, что вызывает уменьшение приращения тока и, соответственно, уменьшение приращения адсорбционного отклика.

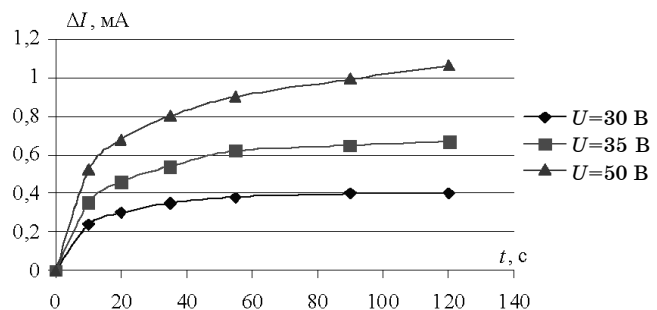


Рис. 4. Зависимость отклика пленки SiO<sub>2</sub>+C на воздействие паров метана с объемной концентрацией, равной 2,5%

*Сэндвич МДМ-структура*

Из рис. 5 видно, как изменяется сквозной ток  $I$  в структуре Mo-SiO<sub>2</sub>+C-Al при напуске метана в вакуумную камеру.

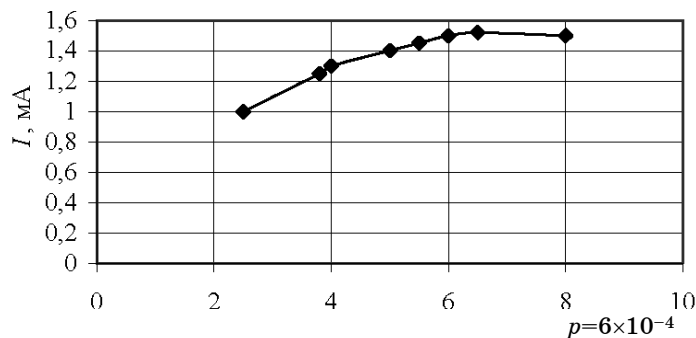


Рис. 5. Зависимость сквозного тока  $I$  в структуре Mo-SiO<sub>2</sub>+C-Al от парциального давления метана  $P$ , при постоянном напряжении  $U = 10 \text{ В}$

На рис. 6. представлен график зависимости сквозного тока  $I$  в структуре Mo-SiO<sub>2</sub>+C-Al во времени. Видно, что интенсивное увеличение сквозного тока  $I$  происходит на отрезке от 2 до 10 с, затем пленка насыщается и ток достигает своего предельного значения.

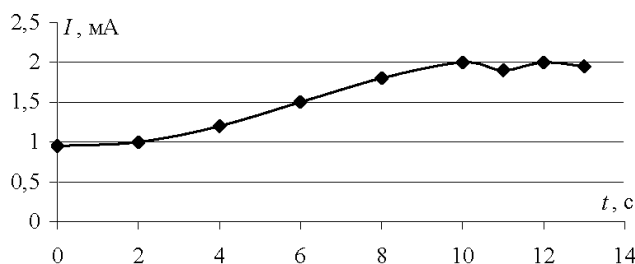


Рис. 6. Изменение сквозного тока  $I$  в структуре Mo-SiO<sub>2</sub>+C-Al во времени при постоянном давлении  $p=6 \times 10^{-2}$

**Заключение**

Полученные результаты говорят о том, что легирование диоксида кремния углеродом, увеличивает адсорбционные свойства диэлектрика и значительно поднимает чувствительность структуры к углеводородам при атмосферном давлении, что позволяет использовать данную структуру (SiO<sub>2</sub>+C) для создания сенсоров газообразных углеводородов.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ № 09-08-99072.

*Литература*

1. Троян П.Е. Электрическая формовка тонкопленочных структур металл – диэлектрик – металл в сильных электрических полях. – Томск: Изд-во Том. ун-та, 2003. – 178 с.
2. Троян П.Е. Влияние углерода на структуру нанопленок двуокиси кремния / П.Е. Троян, Ю.В. Сахаров, С.П. Усов // Матер. докл. всерос. науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых «Научная сессия ТУСУР-2009». – Томск, 2009. – С. 46–48.

**Усов Сергей Петрович**

Аспирант каф. физической электроники ТУСУРа  
Тел.: 8-923-215-55-05  
Эл. почта: ser-u@mail.ru

**Троян Павел Ефимович**

Д-р техн. наук, проф., зав. каф. физической электроники ТУСУРа  
Тел.: 8 (382-2) 41-39-36  
Эл. почта: tpe@ms.tusur.ru

**Сахаров Юрий Владимирович**

Канд. техн. наук, доцент каф. физической электроники ТУСУРа  
Тел.: 8-923-408-06-76  
Эл. почта: suv@ms.tusur.ru

Usov S.P., Sakharov Y.V., Troyan P.E.

**Sensor gaseous hydrocarbon-based porous film SiO<sub>2</sub>+C nanometer thickness**

Gas-sensitive properties of porous silicon dioxide obtained by sputtering a composite target of silicon-carbon are considered.

**Keywords:** carbon, porous films, silicon dioxide, sensor.

---