

К. т. н. Ф. Г. АГАЕВ

Азербайджан, г. Баку, ОКБ космического приборостроения

Дата поступления в редакцию  
28. 12 2000 г.–22. 03 2001 г.

Оппонент к. т. н. А. Б. ГУЛЯЕНКО

## ДАТЧИК УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА НА ОСНОВЕ ПЛЕНКИ ПОЛИКРИСТАЛЛИЧЕСКОГО КРЕМНИЯ

*Проведено исследование электрических характеристик пленок поликристаллического кремния крестообразной конфигурации под влиянием углекислого газа.*

В связи с ухудшением экологической обстановки все более актуальной становится задача исследования газового состава окружающей среды. В последние годы широкое распространение получили методы газового анализа, основанные на изменении электрофизических свойств полупроводниковых материалов под влиянием различных газов, адсорбирующихся на их поверхности. При использовании датчиков, основанных на адсорбционных эффектах, необходимо иметь возможно большую площадь поверхности, на которой происходит контакт с газовой средой. Поэтому в качестве газовых сенсоров применяются пористая керамика или полупроводниковые поликристаллические пленки, например,  $\text{SnO}_2$  или  $\text{ZnO}$  [1, 2].

Более перспективными являются пленки поликристаллического кремния (ПК), поскольку технология одновременного выращивания их совместно с монокристаллическими в эпитаксиальном процессе [3] позволяет формировать на их основе чувствительные элементы, сигналы с которых могут усиливаться и обрабатываться интегральными схемами преобразования сигналов, расположенными на монокристаллических участках того же кристалла [4].

В данной работе приводятся результаты исследования изменения электрических параметров пленок ПК при воздействии на них углекислого газа, обнаружение и автоматический контроль концентрации которого имеют важное значение для закрытых помещений с большим скоплением людей (например, метро).

Пленки ПК получались на локально сформированных затравочных слоях в процессе эпитаксиального наращивания монокристаллических пленок кремния на кремниевых подложках КДБ-10 по технологии, описанной в [3]. В процессе наращивания пленки *n*-типа проводимости производилось легирование фосфором до концентрации  $8 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$ , толщина их не превышала 5 мкм, а средний размер зерна в пленках ПК составлял 0,5 мкм. На поверхность готовой структуры плазмохимическим методом наносилась пленка двуокиси кремния толщиной 0,3 мкм и с помощью операций фотолитографии и диффузии фосфора создавались *n*<sup>+</sup>-участки, на которых после

напыления алюминия формировались омические контакты к пленке ПК. Исследуемые образцы имели крестообразную форму с шириной плеч 100 мкм, размахом длинного плеча 400 и короткого – 200 мкм (рис. 1). Образцы помещались в замкнутый объем емкостью  $10^{-3} \text{ м}^3$ , в который при постоянном нормальном давлении напускались пары  $\text{CO}_2$  порциями по  $10^{-4} \text{ м}^3$ .

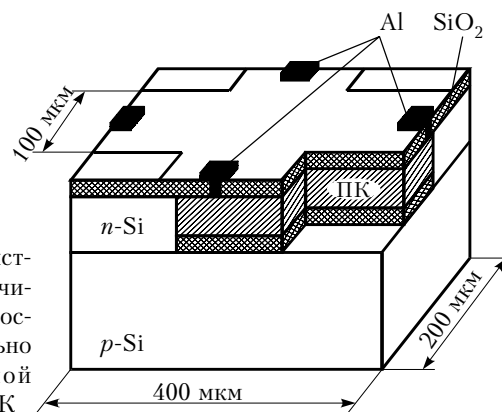


Рис. 1. Конструкция датчика  $\text{CO}_2$  на основе локально выращенной пленки ПК

На рис. 2 приведены вольтамперные характеристики (ВАХ) короткого плеча исследуемого элемента при комнатной температуре при противоположных полярностях приложенного смещения в нормальной атмосфере и с повышенной концентрацией паров  $\text{CO}_2$  ( $200 \text{ млн}^{-1}$ ). Как видно из рис. 2, в обоих случаях ВАХ пленки несимметрична относительно полярности приложенного напряжения, т. е. имеет диодный характер. При этом влияние паров  $\text{CO}_2$  зависит от полярности приложенного смещения: если на обратной ветви (кривые 2 и 4) ток изменяется почти на порядок, то на прямой ветви (1 и 3) – всего в три раза. Начиная примерно с 12 В ток резко возрастает, и воздействие  $\text{CO}_2$  на прямую ветвь ВАХ прекращается, в то время как на обратной ветви оно медленно убывает с увеличением напряжения. При продувке воздухом ВАХ пленки возвращалась к первоначальному виду через 3–4 мин.

Как показано в [5], ВАХ пленки ПК имеет барьерный характер, обусловленный наличием на границах зерен обедненных слоев, возникающих вследствие захвата электронов на глубокие ловушки границ зерен. Наблюдаемая асимметрия ВАХ в отсутствие  $\text{CO}_2$  объясняется большим разбросом удельного сопротивления пленок ПК, обусловленным нео-

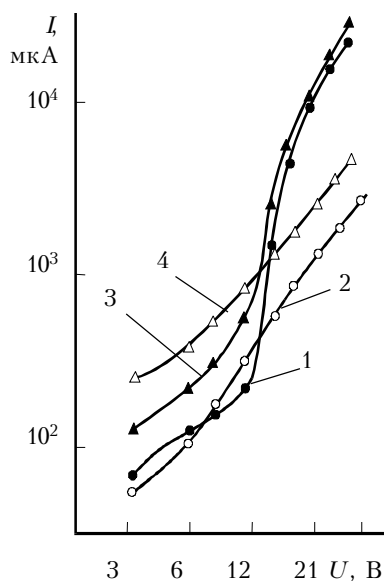


Рис. 2. Вольтамперные характеристики чувствительного элемента: 1 – в нормальной атмосфере; 3 – в среде  $\text{CO}_2$  (прямое смещение); 2 и 4 – то же при противоположной полярности (обратное смещение)

днородностью размера зерен и высоты потенциальных барьеров на их границах.

Как известно [6, с. 80], адсорбированные на поверхности полупроводников молекулы газов могут играть роль либо доноров, либо акцепторов, отдавая или захватывая свободные носители. Поскольку исследуемая пленка ПК имеет  $n$ -тип проводимости, а ее сопротивление в присутствии молекул  $\text{CO}_2$  уменьшается, то, по-видимому, последние образуют на поверхности ПК «прочную» донорную форму. С увеличением напряжения проводимость пленки ПК растет за счет преодоления потенциальных барьеров на границах зерен, причем вклад в проводимость, вносимый адсорбируемыми молекулами, вполне определен, поскольку измерения ВАХ проводились при постоянной концентрации  $\text{CO}_2$ . Поэтому при каком-то напряжении проводимость, обусловленная вкладом носителей с адсорбированных молекул, становится пренебрежимо малой по сравнению с полной проводимостью, и кривые в нормальной атмосфере и в среде  $\text{CO}_2$  сливаются. Аналогичная картина наблюдается и на обратной ветви ВАХ (кривые 2 и 4), только ввиду большей высоты потенциальных барьеров насыщение может произойти при подаче более высокого напряжения смещения.

Исследуемый нами образец крестообразной формы представляет собой четырехполюсник, который обладает известными преимуществами с точки зрения согласования выходных сигналов со схемами их обработки и усиления. Дифференциальный выход образцов подобной формы позволяет их непосредственную стыковку с входными каскадами дифференциальных и операционных усилителей, которые благодаря технологии одновременного выращивания локальных пленок моно- и поликристаллического кремния можно изготавливать на одном и том же кристалле в едином интегральном исполнении с датчиком.

При подаче на одно из плеч элемента определенного напряжения на другом его плече возникает некоторая разность потенциалов, обусловленная неэквипотенциальностью силовых линий, а также разбросом высоты потенциальных барьеров на границах зерен.

На рис. 3 показана зависимость напряжения, возникающего на коротком плече образца, от концентрации  $\text{CO}_2$  при различных напряжениях на длинном плече. Чувствительность датчика существенно возрастает с увеличением напряжения на длинном плече до 5 В. Дальнейшее повышение напряжения слабо влияет на чувствительность.

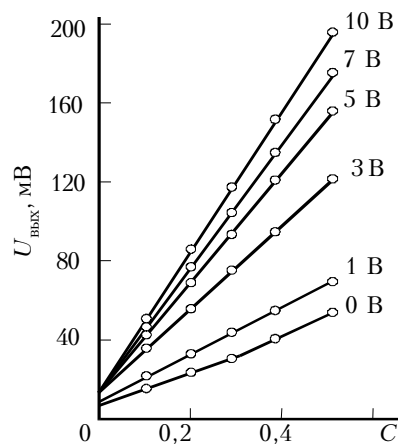


Рис. 3. График зависимости напряжения, возникающего на коротком плече чувствительного элемента, от относительной концентрации  $\text{CO}_2$  (С) при различных напряжениях на длинном плече

Увеличение выходного напряжения датчика с ростом концентрации газа вполне объяснимо в рамках рассмотренного выше механизма повышения примесной проводимости, создаваемой адсорбируемыми молекулами  $\text{CO}_2$  донорного типа. Повышение чувствительности этого процесса при приложении постоянного смещения к перпендикулярному плечу происходит, как и при измерении двухполюсника, за счет понижения высоты потенциальных барьеров границ зерен.

Таким образом, в предложенной структуре на основе пленки ПК имеет место модуляция выходного сигнала с одного плеча датчика путем изменения постоянного смещения, подаваемого на другое плечо, что, по известной аналогии, можно считать полевым адсорбционным эффектом.

#### ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

- Cooper R. B., Advani J. W. Gas sensing mechanism in  $\text{SnO}_2$ , thin films // J. Electron. Materials. – 1981. – Vol. 10, N 3. – P. 455–472.
- Бутурлин А. И., Заикин В. А., Иванов А. Е. и др. Химический сенсор на основе оксида цинка для обнаружения аэрозолей // Материалы 3-го науч.-техн. семинара по электронным датчикам. – Ужгород («Сенсор-89», сентябрь 1989), 1989. – С. 89.
- Abdullayev A. G., Kasimov F. D. The simultaneous growth of monocrystalline and polycrystalline silicon films with controlled parameters // Thin Solid Films. – 1984. – Vol. 115, N 3. – P. 237–243.
- Касимов Ф. Д. Физические свойства и функциональные возможности локально выращенных пленок моно- и поликристаллического кремния // Тезисы докл. 12-й Всесоюз. конф. по микроэлектронике, Тбилиси, 1987. Ч. 2. – С. 175–176.
- Касимова Ф. Ф. Особенности токопереноса в пленках поликристаллического кремния // Тезисы докл. Всероссийск. НТК с междунар. участием «Актуальные проблемы твердотельной электроники и микроэлектроники». – Таганрог, 1994. Ч. 1. – С. 9.
- Волькенштейн Ф. Ф. Физико-химия поверхности полупроводников. – М.: Наука, 1973.