

## ФОТОЧУВСТВИТЕЛЬНЫЕ ЛАВИННЫЕ МОП-СТРУКТУРЫ НА ОСНОВЕ ПРОВОДЯЩИХ ОКИСЛОВ КРЕМНИЯ, ЦИРКОНИЯ И ТИТАНА

Т.М. Бурбаев, Г.А. Калюжная, В.А. Курбатов, А.В. Леонов,  
Т.И. Осина, Н.Н. Сентюрина

*На основе МДП-структур типа Ni – проводящий окисел Si, Ti, Zr–Si созданы высокочувствительные, в том числе многоэлементные лавинные фотодетекторы, превосходящие по своим возможностям лавинные фотодиоды.*

Создание фоточувствительных лавинных МОП-структур является одним из перспективных направлений современной оптоэлектроники. В работах /1, 2/ описаны фоточувствительные МОП-структуры, изготовленные методом термического окисления p-кремния в атмосфере сухого кислорода с последующим напылением полупрозрачного слоя металла, который служил полевым электродом. Одним из недостатков таких структур является необходимость импульсного режима работы, что ограничивает возможности их практического применения. Кроме того, использующийся в этом случае высокотемпературный метод окисления кремния существенно осложняет создание структур со специальным профилем легирования, необходимым для повышения квантовой эффективности прибора.

Нами разработан метод формирования проводящих окислов на поверхности кремния химическим разложением элементоорганических соединений, содержащих Si, Zr, Ti /3/, который позволяет устранить эти недостатки. В методе используются низкотемпературные операции термического ( $T \leq 450^\circ\text{C}$ ) и кратковременного фотонного отжига, что, в отличие от метода высокотемпературного термического окисления, предотвращает развитие примесно-структурных неоднородностей в объеме исходного кремния /4/ и позволяет наносить окисел на подложку, в которой имеются предварительно сформированные с помощью ионного внедрения и диффузии области с различной проводимостью.

В качестве подложек использовались промышленные пластины кремния с ориентацией (100), легированные бором с концентрацией  $1,5 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$ . Исследования состава и структуры полученных слоев с помощью методов ИК и электронной спектроскопии показали, что состав окислов отвечает формулам  $\alpha\text{-SiO}_2$ ,  $\text{ZrO}_2$  и  $\text{TiO}_2$ . Полученные слои были плотными, без пор, с планарными четкими границами между слоем и подложкой; толщина слоев составляла 500 – 3000 Å (рис. 1). Слои  $\text{TiO}_2$ , в зависимости от условий отжига, были аморфными или имели структуру анатаза; слои  $\text{ZrO}_2$  были поликристаллическими и представляли смесь тетрагональной и моноклинной фаз.

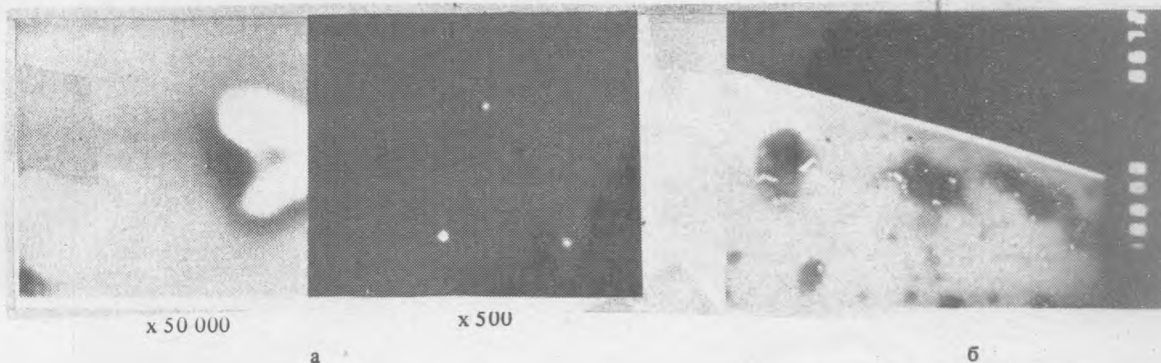


Рис. 1. Изображения структуры Si (100)/TiO<sub>2</sub>, полученные с помощью растрового электронного микроскопа: а) слой TiO<sub>2</sub>, вид сверху; б) поперечный скол структуры, толщина слоя TiO<sub>2</sub> 2500 Å, видны неоднородности в подложке Si.

В качестве полевого электрода МОП-структуры использовался напыленный полупрозрачный слой никеля диаметром (фоточувствительная площадка) 1 мм. На пластине размером 30 x 30 мм<sup>2</sup> изготавливалось около пятидесяти структур.

Исследования показали, что на постоянном токе полученные структуры обладают диодными характеристиками и могут работать как высокочувствительные лавинные фотодетекторы в непрерывном режиме, при этом до 80 % структур, изготовленных в одном технологическом процессе, обнаруживали близкие характеристики по величинам обратных токов, шумов и фоточувствительности.

Обратные токи структур на долавином участке ВАХ составляли  $10^{-10} - 10^{-8}$  А. Рабочее напряжение в лавинном режиме для всех структур близко к 50 В, что определяется свойствами полупроводника, ток через структуру в оптимальном рабочем режиме фотодетектора составлял  $10^{-8} - 10^{-7}$  А. Эти данные говорят об относительно высокой проводимости оксидных слоев. Оценка максимального значения удельного сопротивления оксидного слоя по крутизне ВАХ на участке, соответствующем лавинному процессу в полупроводнике, показывает, что удельное сопротивление изготовленных оксидных слоев не превышает  $10^{10}$  Ом·см.

Характерные величины фоточувствительности и рабочих токов для структур, изготовленных с различными окислами и с использованием разных технологических режимов, приведены в табл. 1. Величина токовой чувствительности определялась в режиме, предшествующем возникновению резко нарастающего с напряжением смещения шума. Результаты измерений показывают, что резкое нарастание шума, ограничивающее практически приемлемые величины коэффициента умножения, в изготовленных структурах происходит при гораздо более высоких значениях коэффициента умножения, чем в лавинных фотодиодах, и при значительно больших размерах приемной площадки. Это говорит о том, что, как и в импульсных лавинных МОП-фотодетекторах, здесь осуществляется стабилизация лавинного процесса.

Таблица 1

Характеристики МОП-структур

Состав окисла	Количество слоев	Толщина окисла, А	Ток в рабочем режиме, мкА	Токовая чувствительность, А/Вт	Коэффициент умножения фототока
SiO <sub>2</sub>	1	1000	0,06	1000	5000
SiO <sub>2</sub>	2	2000	0,04	800	4000
ZrO <sub>2</sub>	1	1000	0,02	300	1000
TiO <sub>2</sub>	2	2500	0,05	2000	6000
TiO <sub>2</sub>	3	3000	0,05	1000	3000

Несмотря на сходство характеристик фоточувствительности структур для всех трех типов окислов, стабильность характеристик структуры на основе ZrO<sub>2</sub> и TiO<sub>2</sub> существенно отличалась от структур на основе SiO<sub>2</sub>. В последних наблюдались долговременные процессы, связанные, по-видимому, с захватом носителей тока глубокими центрами в слое окисла и приводящие, например, к гистерезису ВАХ, а также довольно быстрая деградация фоточувствительных структур, связанная как с протеканием тока через структуру, так и просто с ее хранением. Подобные эффекты в структурах на основе ZrO<sub>2</sub> и TiO<sub>2</sub> практически не проявлялись, а проведенные в течение пятисот часов непрерывной работы испытания структур на основе TiO<sub>2</sub> показали, что изменения фоточувствительности за это время не превышают 50 %.

Полученные результаты показывают, что предложенный метод изготовления МОП-структур позволяет создать высокочувствительные, в том числе и многоэлементные, лавинные фотодетекторы, превосходящие по своим возможностям лавинные фотодиоды.

Авторы благодарят И.П. Акимченко, Н.Н. Мельника и М.В. Сидорова за участие в экспериментах по анализу структур.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Гольбрайх Н. Н., Плотников А. Ф., Шубин В. Э. Квантовая электроника, 2, 2624 (1975).
2. Гольбрайх Н. Н. и др. Микроэлектроника, 8, 49 (1979).
3. Применение металлоорганических соединений для получения неорганических покрытий и материалов, сборник, М., Наука, 1986.
4. Ибраев Б. М. и др. Препринт ФИАН № 149, М., 1988.

Поступила в редакцию 17 января 1990 г.