

## МДП ВАРИКАПЫ И ФОТОВАРИКАПЫ НА ОСНОВЕ СТРУКТУРЫ $Al-Sm_2O_3-Si$

*В.А.Рожков, А.Ю.Трусова, И.Г.Бережной, В.П.Гончаров*

Самарский государственный университет,  
443011, Самара, Россия  
(Поступило в Редакцию 12 июля 1994 г.)

Широкое применение нелинейных конденсаторов (варикапов и фотоварикапов) в радиотехнических и оптоэлектронных устройствах вызывает необходимость поиска и исследования свойств новых слоистых полупроводниковых систем с высокими электрофизическими параметрами. МДП варикапы и фотоварикапы характеризуются большими значениями входного сопротивления, добротности, коэффициента перекрытия емкости и работают при любой полярности напряжения [1]. Для достижения значительных величин перекрытия емкости и крутизны вольт-емкостной характеристики в МДП приборах необходимо использовать диэлектрические материалы с высокими значениями диэлектрической проницаемости, к числу которых относятся оксиды редкоземельных элементов (РЗЭ) [2]. Разнообразные функциональные и электрофизические свойства этих материалов позволили создать на их основе эффективные просветляющие покрытия для кремниевых фотоэлектрических приборов [3], электрические переключатели и элементы памяти [4].

В настоящей работе исследуются электрофизические свойства кремниевых МДП структур с диэлектрической пленкой из оксида самария и возможность их применения в качестве варикапов и фотоварикапов.

Образцы для исследования получались на кремниевых монокристаллических подложках марки КЭФ-5 и КДБ-4.5 с ориентацией (111) и (100) соответственно. Кремниевые пластины обезжиривались кипячением в толуоле с последующей ультразвуковой мойкой в ацетоне. Для снятия слоя естественного оксида подложки обрабатывались в слабом водном растворе плавиковой кислоты. Пленки оксида самария получались методом термического окисления на воздухе при температуре 500–550 °С в течение 30 мин слоя РЗЭ, нанесенного на поверхность кремниевой подложки. Нанесение самария производилось методом термического резистивного распыления из молибденовой лодочки в вакууме  $10^{-5}$  Тор на установке типа ВУП-5. Электроды к слою оксида РЗЭ площадью  $0.39 \text{ мм}^2$  изготавливались путем термического напыления пленки алюминия через трафарет. С противоположной стороны на шлифованную поверхность кремниевой подложки напылялся сплошной контакт из алюминия. Толщина пленок оксида самария в МДП структуре  $Al-Sm_2O_3-Si$  лежала в пределах  $d = 0.22-0.28 \text{ мкм}$ .

Исследования вольт-амперных характеристик (ВАХ) проводились на постоянном токе с использованием электрометрического вольтметра ЭД-05М. Вольт-емкостные характеристики измерялись на частоте 1 МГц с записью кривых на двухкоординатном самописце типа

ЛКД4-003. Зависимости проводимости  $G$  и тангенса угла диэлектрических потерь  $\operatorname{tg} \delta$  от приложенного напряжения исследовались на частоте 1 МГц с помощью прибора Е7-12. Освещение образцов проводилось излучением от лампы накаливания с мощностью 150 Вт.

МДП структуры обладали почти симметричными ВАХ и имели малый коэффициент выпрямления  $k = 1.1-2$ . ВАХ, построенные в координатах  $\ln J$  и  $\sqrt{V}$ , прямолинейны и описываются законом Пула-Френкеля. Величины удельного сопротивления пленок оксида самария, рассчитанные из ВАХ, составляют  $10^{14}-10^{15}$  Ом·см.

На рис. 1 представлены типичные вольт-фарадные характеристики МДП конденсаторов в темноте и при различных уровнях освещенности. Эти зависимости имеют типичный высокочастотный вид и практически не проявляли гистерезисных явлений. Область управляющих напряжений, соответствующая изменению емкости МДП систем, лежит в пределах от  $-2$  до  $+3$  В. Экспериментальные вольт-фарадные характеристики незначительно смещены в сторону положительных значений напряжения относительно теоретически рассчитанных  $C-V$ -зависимостей идеальных МДП структур, что свидетельствует о наличии малого отрицательного фиксированного заряда в диэлектрике.

Коэффициент перекрытия емкости  $K = C_{\max}/C_{\min}$  в темноте при изменении питающего напряжения составил для различных образцов 4-6, а коэффициент перекрытия емкости по свету для электрических смещений, соответствующих инверсии на поверхности полупроводника, лежал в пределах 2-3.5 и 2.5-4 при уровнях освещенности, равных  $4.3 \cdot 10^3$  и  $3 \cdot 10^4$  лк соответственно. Разброс величин коэффициентов перекрытия по свету обусловлен различной прозрачностью электродов для разных образцов. Определенные из вольт-емкостных характеристик параметры исследуемых МДП систем имеют следующие значения: удельная емкость диэлектрика  $C_0 = 0.04-0.05$  мкФ/см<sup>2</sup>, крутизна вольт-емкостной характеристики при потенциале плоских зон  $dC/dV = 60-80$  пФ/В, фиксированный за-

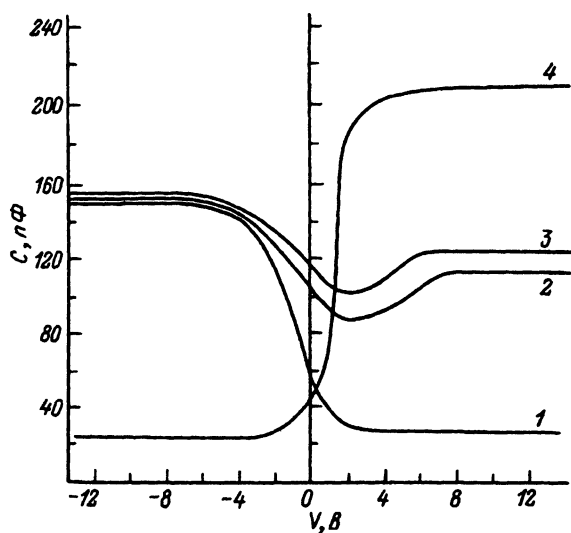


Рис. 1. Вольт-емкостные характеристики МДП структур Al-Sm<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Si с кремнием  $p$ - (1) и  $n$ -типов (2) проводимости в темноте (1, 4) и при освещенности  $4.3 \cdot 10^3$  (2),  $3 \cdot 10^4$  (3);  $d = 0.28$  (1-3),  $0.22$  мкм (4).

ряд в диэлектрике  $Q_{\phi} = 3-5 \cdot 10^{-8}$  Кл/см<sup>2</sup>, плотность поверхностных состояний при потенциале плоских зон  $N_{ss} = 3-3.6 \cdot 10^{10}$  см<sup>-2</sup> · эВ<sup>-1</sup>. Удельная емкость диэлектрика и коэффициент перекрытия по емкости для исследуемых образцов более чем в 3 раза превосходят аналогичные параметры широко распространенных МДП систем с диэлектриком из двуоксида кремния, что обусловлено большим значением диэлектрической проницаемости оксида самария ( $\epsilon = 11-12$ ). Пробивная напряженность электрического поля диэлектрика составляет  $5-7 \cdot 10^6$  В/см.

Зависимости тангенса угла диэлектрических потерь  $\text{tg } \delta$  и проводимости  $G$  от напряжения при частоте измерительного сигнала 1 МГц в темноте и при различных уровнях освещенности приведены на рис. 2. Эти характеристики имеют максимум при напряжении плоских зон и тенденцию к насыщению в области напряжений, соответствующих аккумуляции и инверсии на поверхности полупроводника. Значения  $\text{tg } \delta$  в темноте при различных напряжениях лежат в пределах от 0.04 до 0.16 и существенно не изменяются при освещении. Активная составляющая проводимости МДП структур также слабо зависела от освещения.

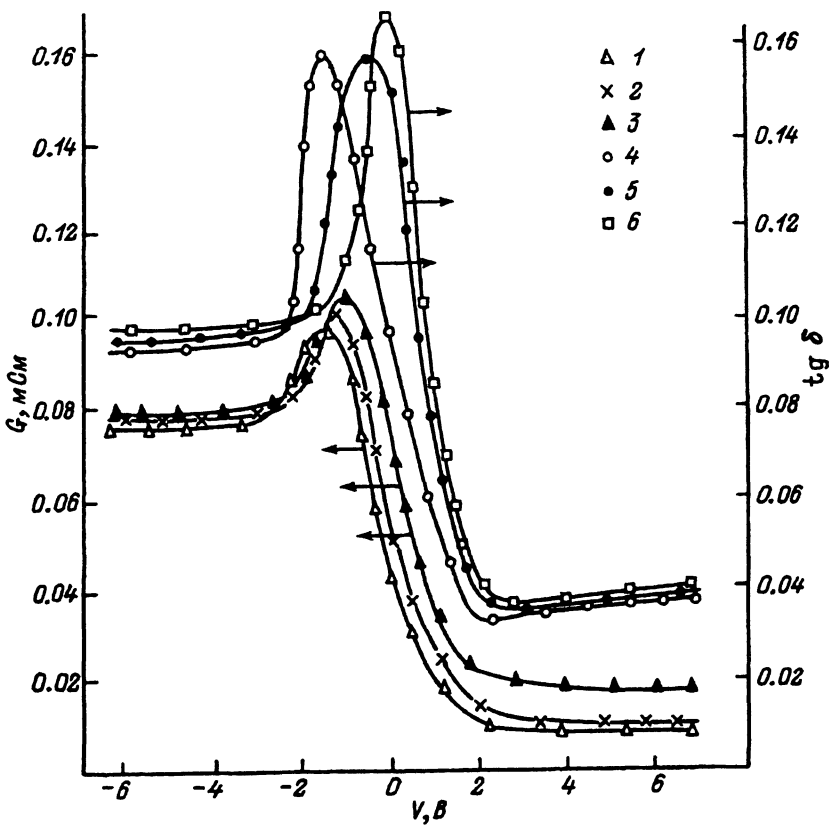


Рис. 2. Зависимости  $\text{tg } \delta$  и  $G$  от напряжения в темноте (1, 4) и при освещенности 1000 (2, 5), 2700 лк (3, 6).

Таким образом, полученные результаты свидетельствуют о перспективности использования исследованных структур в качестве стабильных МДП варикапов и фотоварикапов, имеющих малые управляющие напряжения, высокие значения коэффициента перекрытия емкости, крутизны вольт-емкостной характеристики и добротности.

### Список литературы

- [1] Зуев В.А., Саченко А.В., Толпыго К.Б. Неравновесные приповерхностные процессы в поупроводниках и полупроводниковых приборах. М.: Сов. радио, 1977. 256 с.
- [2] Латугина Н.В., Рожков В.А., Романенко Н.Н. // Микроэлектроника. 1994. Т. 23. № 1. С. 59–64.
- [3] Аношин Ю.А., Петров А.И., Рожков В.А. и др. // Письма в ЖТФ. 1992. Т. 18. Вып. 10. С. 54–58.
- [4] Рожков В.А., Петров А.И. // Письма в ЖТФ. 1985. Т.11. Вып. 1. С. 49–52.

02;04;12  
© 1995 г.

Журнал технической физики, т. 65, в. 8, 1995

## ПЛАЗМЕННО-ПУЧКОВЫЙ КНУДСЕНОВСКИЙ РАЗРЯД В СМЕСИ ЦЕЗИЯ С МОЛЕКУЛЯРНЫМ ВОДОРОДОМ

Ф.Г.Бахит, В.Г.Иванов, А.А.Костин, А.Г.Никитин, С.М.Школьник

Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН,  
194021, Санкт-Петербург, Россия  
(Поступило в Редакцию 1 ноября 1994 г.)

1. В настоящей работе приводятся первые результаты экспериментального исследования низковольтного (НВ) кнудсеновского плазменно-пучкового (ПП) цезий-водородного разряда и проводится сопоставление этих результатов с теорией.

Интерес к НВ Cs–H<sub>2</sub> разряду связан в первую очередь с возможностью его использования в качестве источника отрицательных ионов водорода H<sup>-</sup> и колебательно возбужденных молекул H<sub>2</sub>. В настоящее время признано, что основным механизмом генерации ионов H<sup>-</sup> в объемно-плазменных источниках является диссоциативное прилипание (ДП) электронов к колебательно возбужденным молекулам H<sub>2</sub> [1]. С этой точки зрения НВ Cs–H<sub>2</sub> разряд примечателен тем, что в нем сравнительно легко достигается электронная температура  $T_e \simeq 1$  эВ, соответствующая максимальным значениям констант ДП [2]. Это наряду с высокой концентрацией  $n_e$  электронов и высоким уровнем колебательного возбуждения молекул H<sub>2</sub> должно обеспечивать по данным расчетов [3] большую концентрацию ионов H<sup>-</sup> в разряде. Первые экспериментальные исследования НВ Cs–H<sub>2</sub> разряда [4] подтвердили возможность получения в нем плазмы с параметрами, необходимыми для генерации ионов H<sup>-</sup>.

Выполненные в [4] эксперименты и предварительное сравнение их с теорией, однако, в основном относились к плотной плазме, когда в