

06.2;06.3

©1995

МДП-ВАРИКАПЫ И ФОТОВАРИКАПЫ НА ОСНОВЕ СТРУКТУРЫ $Al-Lu_2O_3-Si$

В.А.Рожков, В.П.Гончаров, А.Ю.Трусова

Широкое использование в радиотехнике и оптоэлектронике нелинейных конденсаторов (варикапов и фотоварикапов) вызывает необходимость поиска новых материалов и исследования свойств новых слоистых систем с высокими электрофизическими параметрами. Металл-диэлектрик-полупроводниковые (МДП) варикапы и фотоварикапы характеризуются большими значениями входного сопротивления, добротности, коэффициента перекрытия емкости и работают при любой полярности напряжения [1]. Использование диэлектрических пленок из материалов с высокими значениями диэлектрической проницаемости, к числу которых относятся оксиды редкоземельных элементов (ОРЗЭ) [2], позволяет значительно увеличить коэффициент перекрытия емкости и крутизны вольт-емкостной характеристики МДП структур. Разнообразные функциональные и электрофизические свойства ОРЗЭ позволили создать на их основе эффективные просветляющие покрытия для кремниевых фотоэлектрических приборов [3], электрические переключатели и репрограммируемые элементы постоянной памяти [4].

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

Образцы для исследований изготавливались на полированных кремниевых монокристаллических подложках марки КЭФ-5 и КДБ-4.5 с ориентацией поверхности (111) и (100) соответственно. Пластины подвергались химической обработке путем кипячения в толуоле в течение 10 мин и последующего травливания слоя естественного оксида в слабом водном растворе плавиковой кислоты. Слой оксида лютеция изготавливался термическим окислением на воздухе при температуре 500°C пленки редкоземельного металла, нанесенного на поверхность кремниевой подложки методом резистивного испарения из молибденовой лодочки в вакууме $\approx 10^{-5}$ мм рт. ст. на установке типа ВУП-5. Толщина диэлектрической пленки в МДП структуре равнялась

0.26 мкм. Электроды к пленке оксида лютетия площадью 0.4 мм^2 получались резистивным напылением полупрозрачного слоя алюминия в вакууме $\approx 5 \cdot 10^{-5}$ мм рт. ст. через трафарет. Контакт к полупроводниковой подложке наносился аналогичным образом на шлифованную поверхность кремниевой пластины.

Вольт-амперные характеристики (ВАХ) МДП структур типа $\text{Al-Lu}_2\text{O}_3\text{-Si}$ измерялись на постоянном напряжении с помощью электрометра ЭД-05М с чувствительностью 10^{-15} А. Вольт-емкостные характеристики (ВЕХ) измерялись на частоте 1 МГц с записью кривых на двухкоординатном самописце типа ЛКД4-003. Зависимости проводимости G и тангенса угла диэлектрических потерь $\text{tg}\delta$ от приложенного напряжения исследовались на частоте 1 МГц с помощью прибора Е7-12. Освещение образцов проводилось с помощью лампы накаливания мощностью 150 Вт.

МДП структуры обладали почти симметричными ВАХ и имели малый коэффициент выпрямления $K = 1 - 2$. Ток, протекающий через структуру, изменялся от 10^{-14} до 10^{-11} А при увеличении напряжения от 1 до 16 В, а величина удельного сопротивления пленки оксида лютетия, рассчитанная из ВАХ, составляла $10^{14} - 10^{15}$ Ом · см. Зависимости линейны в координатах $\ln J - \sqrt{V}$, слабо зависят от типа проводимости кремниевой подложки и удовлетворительно описываются механизмом Пула-Френкеля.

На рис. 1 представлены типичные вольт-емкостные характеристики МДП-структуры с пленкой оксида лютетия при различных уровнях освещенности. Как видно из рисунка, данные зависимости при малых освещенностях (< 3000 лк) имеют высокочастотный вид и практически не обладают гистерезисом. Область управляющих напряжений для большинства исследованных образцов с подложками n - и p -типов проводимости, соответствующая изменению емкости МДП систем, лежала в пределах от -2 до $+4$ В. Экспериментальные ВЕХ 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 и на границе раздела с кремнием. При возрастании освещенности инверсная емкость МДП структуры увеличивается, что обусловлено генерацией электронно-дырочных пар в приповерхностном слое полупроводника и ростом емкости области пространственного заряда кремниевой подложки. При этом $C-V$ кривые при высоких уровнях освещения имеют минимум емкости, характерный для низкочастотных ВЕХ МДП систем.

Коэффициент перекрытия емкости $K = C_{\text{max}}/C_{\text{min}}$ в МДП вариаторах составлял 5-6, а коэффициент перекрытия ем-

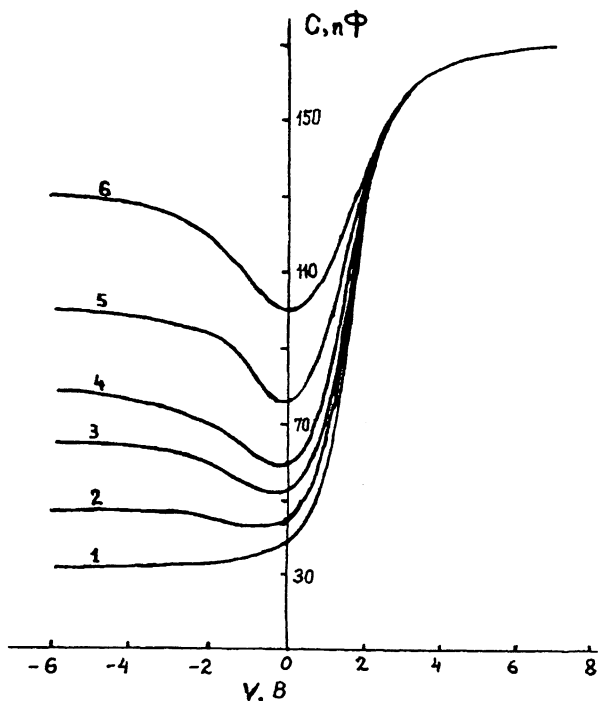


Рис. 1. Вольт-емкостные характеристики МДП структуры $\text{Al-Lu}_2\text{O}_3\text{-nSi}$ при различных уровнях освещенности: 500 (1), 3000 (2), 900 (3), 18500 (4), 26000 (5), 33000 лк (6). $d_{\text{Lu}_2\text{O}_3} = 0.26$ мкм.

кости по свету в фотоварикапах лежал в пределах 4–4.5 при освещенности $3 \cdot 10^4$ лк. Разброс значений коэффициента перекрытия по свету обусловлен различной прозрачностью электродов для разных образцов. Определенные из ВЕХ параметры исследуемых МДП структур имеют следующие значения: удельная емкость диэлектрической пленки $C_0 = 0.04 - 0.044$ мкФ/см², крутизна ВЕХ при потенциале плоских зон $\frac{dC}{dV} = 80 - 100$ пФ/В, фиксированный заряд в диэлектрике $Q_0 = (1 - 3) \cdot 10^{-8}$ Кл/см², плотность поверхностных состояний при потенциале плоских зон $N_{ss} = (2 - 3) \times 10^{11}$ см⁻² · эВ⁻¹, диэлектрическая проницаемость пленочного оксида лютеция $\epsilon = 12 - 13$, пробивная напряженность электрического поля диэлектрика $E_b = (2 - 5) \cdot 10^6$ В/см.

Зависимости тангенса угла диэлектрических потерь $\text{tg } \delta$ и проводимости G на частоте 1 МГц от напряжения 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 полу-

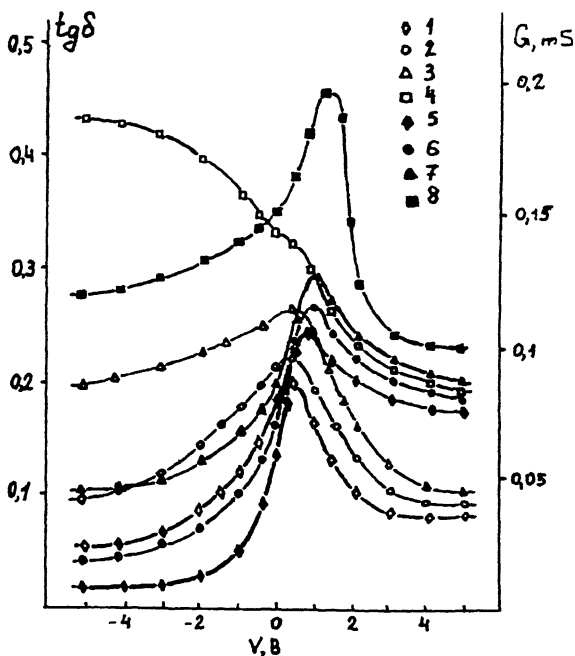


Рис. 2. Зависимости $\text{tg}\delta$ (1-4) и проводимости G (5-8) структуры $\text{Al-Lu}_2\text{O}_3-n\text{Si}$ от напряжения при различных уровнях освещенности: 1000 (1, 5), 10000 (2, 6), 20000 (3, 7), 30000 лк (4, 8). $d_{\text{Lu}_2\text{O}_3} = 0.26$ мкм.

проводника. Аналогичный вид зависимости проводимости от напряжения наблюдался для МДП структур с термически окисленным кремнием [5]. При увеличении освещенности образцов от 10^3 до $3 \cdot 10^4$ лк величина $\text{tg}\delta$ возрастает от 0.04 до 0.4–0.45 в области инверсных напряжений и от 0.1 до 0.2 в области напряжений, соответствующих насыщению поверхности полупроводника основными носителями заряда. Подобное увеличение с возрастанием освещенности проявляется и для проводимости МДП структур. Однако добротность МДП варикапов остается сравнительно высокой и при больших уровнях освещения.

Исследуемые МДП варикапы проявляют высокую температурную стабильность. Так, $C - V$ кривые образцов на основе $n - \text{Si}$ смещаются по оси напряжения на 0.3 В в сторону положительных значений при охлаждении структур от +21 до -51 С. Данный результат обусловлен захватом основных носителей заряда (электронов) на состояния границы раздела полупроводник-диэлектрик при понижении температуры.

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 лютетия. Таким образом, проведенные исследования показывают перспективность использования изученных структур в качестве стабильных МДП варикапов и фотоварикапов с малыми управляющими напряжениями и высокими значениями крутизны вольт-емкостной характеристики.

Список литературы

- [1] Зуев В.А., Саченко А.В., Толпыго К.Б. Неравновесные приповерхностные процессы в полупроводниках и полупроводниковых приборах. М.: Сов. радио, 1977. 256 с.
- [2] Латухина Н.В., Рожков В.А., Романенко Н.Н. // Микроэлектроника. 1994. Т. 23. В. 1. С. 59-64.
- [3] Аношин Ю.А., Петров А.И., Рожков В.А. // Письма в ЖТФ. 1992. Т. 18. В. 10. С. 54-58.
- [4] Рожков В.А., Петров А.И. // Письма в ЖТФ. 1985. Т. 11. В. 1. С. 49-52.
- [5] Nicollian E.N., Goetzberger A. // Bell Syst. Tech. J. 1967. V. 46. P. 1055-1063.

Самарский государственный
университет

Поступило в Редакцию
7 сентября 1994 г.