

ОПТИЧЕСКИЕ И ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПЛЕНОК ДВУОКИСИ ГЕРМАНИЯ

Я. А. ПОТАПЕНКО, В. А. ДРОЗДОВ, В. Ф. КОРЗО, Н. А. КАЛЬНЕВ

Исследованы свойства двуокиси германия на пленочных образцах. Ширина запрещенной зоны, определенная из спектров оптического поглощения, колеблется в пределах $2,5 \div 2,8$ эв в зависимости от условий получения и стехиометрии. На пленках толщиной $0,5 \div 1$ мкм наблюдалось наибольшее пробивное напряжение $\sim 10^8$ в/см и больше, которое уменьшалось на более толстых слоях. Температурная зависимость проводимости характеризуется прямой с наклоном $\Delta E = 0,02 \div 0,08$ эв. Униполярность ВАХ структур алюминий—двуокись германия—алюминий зависит от технологии нанесения слоев и толщины пленки двуокиси германия.

Свойства двуокиси германия исследовались на пленочных образцах. При измерениях электрофизических свойств пленок использовались омические контакты из алюминия, полученные термическим напылением в вакууме с вольфрамовой спирали. Толщина пленок двуокиси германия изменялась в пределах $0,1 \div 2$ мкм. В качестве подложек использовались стекло, слюда, ситалл, кристаллы хлорида натрия, предварительно подвергнутые ионной очистке в разряде. Образцы могли производиться за один цикл в вакууме без напуска воздуха.

Варьируя условия осаждения пленок, мы получали различную структуру осадка — от неупорядоченной или аморфной до кристаллической. Было замечено, что при напылении двуокиси германия на монокристаллическую подложку из хлорида натрия пористость пленки значительно снижается. Подбирая режим осаждения, можно получать практически сплошные пленки, однако для этого необходимо каждый раз проводить тщательные экспериментальные исследования, подбирая условия оптимального роста пленки.

Оптическое поглощение пленок двуокиси германия измерялось на спектрофотометре СФ-4. Типичные спектральные кривые абсорбции приведены на рис. 1. Для пленок двуокиси германия, в зависимости от условий получения и стехиометрии пленки, ширина запрещенной зоны, по нашим измерениям, колеблется в пределах $2,5 \div 2,8$ эв. Степень размытия оптического спектра в окрестности края собственного поглощения возрастала с увеличением степени разупорядоченности пленки. При отжиге пленок собственный край поглощения сдвигается в длинноволновую область, и в большей степени при отжиге в высоком вакууме. Абсорбция при этом также увеличивается. Этот факт говорит о том, что отжиг при недостатке кислорода приводит к изменению стехиометрии в сторону агрегации атомов германия. На слоях при этом наблюдается увеличение проводимости.

Электрические характеристики сэндвичевых структур алюминий—двуокись германия—алюминий остаются стабильными вплоть до полей $\sim 6 \cdot 10^8$ в/см. Электрическая прочность пленок двуокиси германия, измеряемая на однородных структурах, достигала $\sim 10^8$ в/см и больше. При

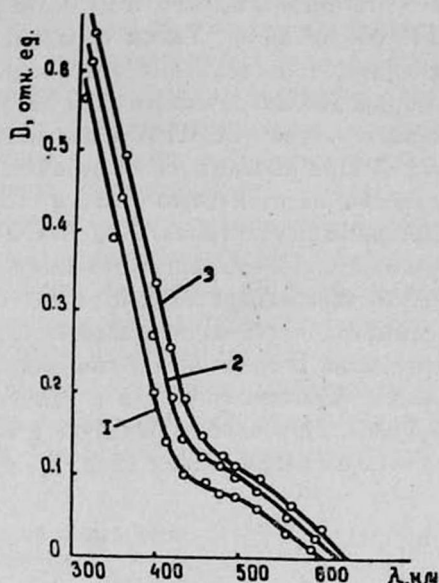


Рис. 1. Оптическое поглощение пленок двуокиси германия: 1—не отожженные пленки; 2, 3—отжиг при 250°C в течение 2 час соответственно на воздухе и в высоком вакууме.

более высоких полях появляется вероятность локального микропробоя структур по дефектам. У исследованных образцов величина электрической прочности зависит от «размерного эффекта». При малых толщинах заметную роль начинает играть фактор неоднородности микрорельефа границы раздела нижний электрод—диэлектрик. Электрический пробой в образце с дефектным диэлектриком сильно затушевывается эффектом локального микропробоя по каналам с повышенной проводимостью, сопровождающимся взрывным выделением тепла в местах прохождения лавины, а образование электронной лавины в тонких пленках может быть вызвано туннельной эмиссией с катода. Чем более дефектна пленка двуокиси германия, тем больше вероятность локального микропробоя в слабых местах при увеличении активной площади диэлектрика и тем более ярко выражен у такого диэлектрика «размерный эффект».

Симметричные электроды снижают эффект униполярности, обусловленный различием в высотах контактных барьеров, хотя иногда влияние материала электродов на величину пробивного напряжения может быть второстепенным по сравнению с состоянием поверхности. Для устранения влияния неровностей микроповерхностей подложки, а также для увеличения адгезии нижнего металлического электрода на подложку методом катодного распыления наносился слой окиси кадмия толщиной $\sim 100 \text{ \AA}$. Анализ микрорельефа поверхности пленок позволил подобрать такой режим нанесения алюминиевого электрода на пленку двуокиси германия, что высота неровности у них не превышала $50 \text{ \AA}$, а сквозные поры отсутствовали. На таких пленках с толщиной $0,5 \div 1 \text{ мкм}$ наблюдалось наибольшее

пробивное напряжение $\sim 10^6$ в/см и больше, а на более толстых слоях эта величина составляла $(4 \div 6) \cdot 10^5$ в/см. Таким образом, исчезает эффект «электрического упрочнения», т. е. величина пробивного напряжения перестает зависеть от толщины диэлектрического слоя двуокиси германия.

Вольт-амперные характеристики исследованных пленок двуокиси германия приведены на рис. 2. При высоких полях начинается экспоненциальный рост тока, переходящий в неустойчивую область токов, характерную для предпробойного состояния диэлектрика. Ход ВАХ для прямой и обратной ветвей структуры алюминий—двуокись германия—алюминий одинаков, что свидетельствует об удовлетворительной технологии нанесения пленок, обеспечивающей симметричность потенциальных барьеров со стороны верхнего и нижнего электродов. В то же время униполярность структур зависела от толщины пленки двуокиси германия и заметно возрастала при уменьшении ее ниже 0,3 мкм. Наибольшее различие в прямом и обратном токах наблюдалось при низких напряжениях (рис. 2), и это связано с эф-

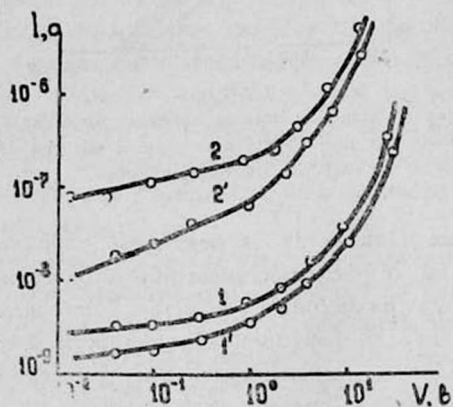


Рис. 2. Вольт-амперные характеристики структур алюминий—двуокись германия—алюминий: 1,1'—толщина 0,5 мкм; 2,2'—0,2 мкм; 1,2—прямая ветвь; 1',2'—обратная ветвь. На верхний электрод подается «плюс».

фектами установления проводимости [1]. С ростом поля в диэлектрике происходит рассасывание областей связанных зарядов за счет ионизации ловушек, поэтому униполярность статических ВАХ с увеличением температуры и напряжения должна уменьшаться.

Температурная зависимость проводимости пленок двуокиси германия характеризуется прямой с наклоном $\Delta E = 0,02 \div 0,08$ эв. С уменьшением температуры величина ΔE падает. Она также слабо зависит от величины поля в пленке. Наибольшая зависимость удельного сопротивления пленки от температуры наблюдалась в области низких полей, соответствующих участку захвата на ловушки; значение удельного сопротивления при этом составляло $\sim 10^{11}$ ом см.

Характер электропроводности окисных дефектных структур, подобных двуокиси германия, анализируется в работе [2]. Будем считать, что ионы германия соединены между собой посредством мостиковых атомов кисло-

рода, создавая ковалентные связи со значительной долей ионности. Структура пленок неупорядоченная, но в первом приближении обладает ближним порядком в пределах нескольких ячеек. Благодаря нарушениям стехиометрии существуют одновалентные ионы, связанные с немостиковыми атомами кислорода, либо просто некомпенсированные валентные электроны, способные принимать активное участие в переносе заряда. Наличие немостиковых кислородных вакансий может играть в пленке роль ловушек. Под действием внешнего электрического поля и температуры может происходить термоактивированный перескок валентного электрона с одного состояния (локального моноуровня) на другие. Об этом свидетельствует факт понижения ΔE с уменьшением температуры, так как при низких температурах становятся возможными перескоки только с малым изменением энергии. Одновременно примесный ион может переводиться из одного равновесного положения в другое, а немостиковый атом кислорода—захватывать или испускать электрон. Перечисленные процессы будут давать вклад в проводимость.

Одесский государственный университет
имени И. И. Мечникова

Поступила 20.II.1976

ЛИТЕРАТУРА

1. J. T. Johansen. J. Appl. Phys., 37, 499 (1966).
2. V. Heine. Phys. Rev., A145, 539 (1966).

ՀԵՐՄԱՆԻՈՒՄԻ ԵՐԿՕՔՍԻԴԻ ԹԱՂԱՆԹՆԵՐԻ ՕՊՏԻԿԱԿԱՆ ԵՎ ԷԼԵԿՏՐՈՖԻԶԻԿԱԿԱՆ ՀԱՏՎՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԸ

Յա. Լ. ՊՈՏԱՊԵՆԿՈ, Վ. Ա. ԴՐՈԶԴՈՎ, Վ. Ֆ. ԿՈՐԶՈ, Ն. Ա. ԿԱԼՆԵՎ

Աշխատանքում հետազոտվում են զերմանիումի երկօքսիդի հատկությունները թաղանթային նմուշների վրա: Օպտիկական կլանման սպեկտրներից որոշված արգելված գոտու լայնությունը տատանվում է $2,5 \div 2,8$ էՎ սահմաններում, կախված ստացման պայմաններից և ստեխիոմետրիայից:

OPTICAL AND ELECTROPHYSICAL PROPERTIES OF GERMANIUM DIOXIDE FILMS

Ya. L. POTAPENKO, V. A. DROZDOV, V. F. KORZO, N. A. KAL'NEV

The properties of germanium dioxide were investigated on film samples. The width of the forbidden band determined from optical absorption spectra varies within the $(2.5 \div 2.8)$ eV limits depending on the conditions of preparation and of stoichiometry. Low breakdown voltage of $\sim 10^6$ v/cm and higher was observed on $0.5 \div 1$ μ m thick films, which decreased with the increase of film thickness. The temperature dependence of the conductivity is characterized by a line with $\Delta E = 0.02 \div 0.08$ eV slope.