

НЕМОНОТОННОСТЬ ВОЛЬТ-ФАРАДНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СТРУКТУР МЕТАЛЛ-СТЕКЛО-ПОЛУПРОВОДНИК

*Национальный университет Узбекистана,
вузгородок, г. Ташкент, 100174, Республика Узбекистан, vlasov@uzsci.net*

При изучении электрофизических характеристик структур металл-диэлектрик-полупроводник (МДП) многие авторы наблюдали немонотонность изменения высокочастотной вольт-фарадной характеристики в области инверсионных напряжений [1], не описываемую в рамках теории емкости идеальной структуры. Особенно ярко эта немонотонность проявляется при измерении емкости структуры при достаточно низких температурах [2]. Для объяснения наблюдаемого поведения емкости привлекались модели неоднородного распределения поверхностных состояний по ширине запрещенной зоны полупроводника, обусловленной флуктуацией поверхностного потенциала [3], туннельной перезарядки микрокристаллических включений, локализованных в диэлектрике на небольшом расстоянии от границы раздела полупроводник-диэлектрик [1], наличия профиля распределения глубоких примесных центров в полупроводниковой подложке [4]. Нами отмечена аналогичная немонотонность вольт-фарадных характеристик структур металл-стекло-полупроводник (МСП), изготовленных на основе кристаллического кремния, покрытого слоем свинцово-боросиликатного стекла [5]. Для установления природы наблюдаемого поведения емкости структур, изготовленных при использовании свинцово-боросиликатных стекол, были использованы пластины кремния (КЭФ - 2,5, КЭФ - 5 и КЭФ - 10 с кристаллографической ориентацией $\langle 111 \rangle$) и свинцово-боросиликатное стекло типа $PbO - SiO_2 - V_2O_5 - Al_2O_3 - Ta_2O_5$, с масс-процентным содержанием компонентов 49:32:15:3:1 – группа 1 и 49:30:17:3:1 – группа 2. Структуры обеих групп изготавливались по технологии, аналогично описанной в работе [6]. При исследовании использовались методы высокочастотных вольт-фарадных характеристик [7] и изотермическая релаксация емкости диодов Шоттки [8].

На рис. 1 приведена вольт-фарадная характеристика одной из исследуемых структур группы 1, снятая в темноте, при комнатной температуре на частоте 150 кГц. Из приведенной зависимости видно, что при напряжениях 5–9 В измеряемая емкость структуры выходит на горизонтальный участок, однако при дальнейшем увеличении напряжения до значений 10–14 В измеряемая емкость снова уменьшается. Во всех структурах группы 2 немонотонности вольт-фарадных характеристик не наблюдалось. Для определения влияния примесных центров, локализованных в полупроводниковой подложке, на вольт-фарадную характеристику со структур МСП химическим способом удалялся слой стекла и при помощи вакуумного распыления Au формировался барьер Шоттки. Далее при помощи метода [7] определялись концентрация и энергетический спектр глубоких центров, имеющих в полупроводниковой подложке. Анализ полученных результатов показал, что во всех изготовленных барьерах Шоттки имеет место перезарядка глубокого центра с энергией ионизации $E_C - 0,4$ эВ, концентрацией $N_T = 1-3 \cdot 10^{12}$ см⁻³. Температурная зависимость постоянных времен релаксации заполнения для выявленного центра приведена на рис. 2. Величина заряда, создаваемого выявленным центром (при условии его однородного распределения по всей толщине d области объемного заряда полупроводника), может быть определена как $Q = qN_T S d = 3 \cdot 10^{-11}$ К (здесь S – площадь металлического контакта диода Шоттки). Величина заряда, создаваемая локальной неоднородностью на вольт-фарадной характеристике структуры МСП (определенная по заштрихованному участку C-V зависимости, приведенной на рис. 1), составляет $Q_1 = 5 \cdot 10^{-8}$ К. Сравнение двух этих величин показывает, что глубокий центр с указанной концентрацией не может привести к наблюдаемой неоднородности вольт-фарадной характеристики. Следовательно, ответственным за немонотонность вольт-фарадной характеристики является слой стекла, а не полупроводниковая подложка.

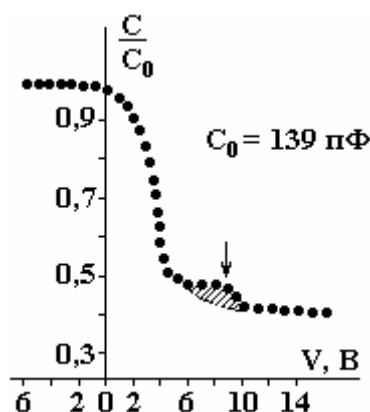


Рис. 1. Вольт-фарадная характеристика (нормализованная к величине емкости слоя стекла) структуры металл-стекло-полупроводник группы 1

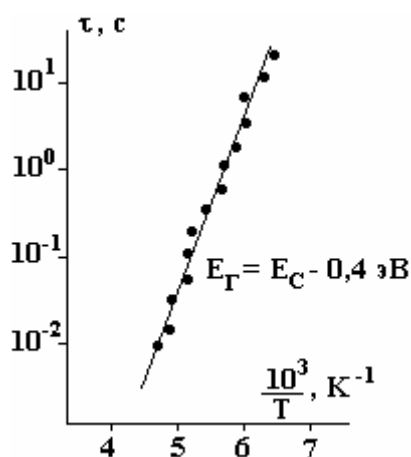


Рис. 2. Температурная зависимость постоянной времени релаксации заполнения

На наш взгляд, немонотонное изменение емкости структуры металл-диэлектрик-полупроводник при инверсионных напряжениях обусловлено наличием структурного дефекта в стекле, в слое, прилегающем к границе раздела стекло-полупроводник. Указанный дефект имеет характер акцепторного центра. При достаточно больших инверсионных напряжениях этот центр захватывает дырки из сформированного инверсионного слоя. Заряд инверсионного слоя уменьшается, что приводит к расширению слоя объемного заряда полупроводника, к уменьшению его емкости и, следовательно, всей структуры. Захват дырок на акцепторный центр изменяет его зарядовое состояние, что способствует захвату на него электронов при обогащающих напряжениях.

В пользу предлагаемой модели свидетельствуют температурные зависимости тангенса угла диэлектрических потерь, снятые в интервале температур $-50+10^{\circ}\text{C}$, при приложении к структуре обогащающего напряжения $+5\text{ В}$ для структур, на $C-V$ зависимостях которых наблюдается немонотонность, и для структур, изготовленных по той же технологии, но без наличия неоднородностей $C-V$ зависимостей.

Сравнение температурных зависимостей тангенса угла диэлектрических потерь показало, что во всех структурах диэлектрические потери имеют хорошо выраженный релаксационный максимум. Однако в структурах, на $C-V$ зависимостях которых наблюдается немонотонность, релаксационный максимум сдвигается в сторону более высоких температур (-20°C и $+5^{\circ}\text{C}$ соответственно для структур обеих групп) и расширяется. Это указывает на увеличение сквозных потерь в стекле, обусловленных перезарядкой наблюдаемого дефекта.

ЛИТЕРАТУРА

1. Литовченко В.Г., Горбань А.П. Основы физики микронных систем металл-полупроводник. Киев, 1978.
2. Winokur P.S., Bboesch Ir. Interface-state generation in radiation-hard oxides // IEEE Trans. Nuclear Science. 1980. Vol. NS-27. № 5. P. 1647–1650.

3. Гергель В.А., Сурис Р.А. Теория поверхностных состояний и проводимости в структурах металл-диэлектрик-полупроводник // Журнал экспериментальной и теоретической физики. 1983. Т. 84. Вып.2. С. 719–736.
4. Nicollian E.H., Brews J.R. MOS physics and technology. Wiley. N.-Y. 1982. P.900.
5. Власов С.И., Эргашева М.А., Рахимов Н., Тургунов Ш.Т. Не монотонные вольт-фарадные характеристики структур металл–стекло–полупроводник // Фундаментальные и прикладные вопросы физики. Труды международной конференции. Ташкент, 2004. С. 379.
6. Парчинский П.Б., Власов С.И., Тургунов У.Т. Свойства пассивирующих покрытий на основе свинцово-боросиликатных стекол // Неорганические материалы. 2002. Т. 38. № 6. С. 750–754.
7. Берман Л.С., Власов С.И., В.Ф. Морозов. Идентификация остаточных глубоких примесей в полупроводниковых приборах методом емкостной спектроскопии // Известия АН СССР. Сер. физическая. 1978. Т. 42. № 6. С. 1175–1178.
8. Берман Л.С., Лебедев А.А. Емкостная спектроскопия глубоких центров в полупроводниках. Л., 1981.

Summary

The nature of not monotony high-frequency volt-farad characteristics of the structures metal-glass-semiconductor is investigated. It is shown that the not monotonous change of capacity of the metal-glass-semiconductor at inverse voltage can be caused by presence of structural defect acceptors character in glass, in a layer adjoining to the separating border of the glass-semiconductor.
