

**ПРОЦЕСС НАКОПЛЕНИЯ ЗАРЯДОВ В МНОГОСЛОЙНЫХ СТРУКТУРАХ НА
ОСНОВЕ GaSe И ФОТОЭЛЕКТРЕТА ИЗ GeO**

А.Б.МЕДЖИДОВ, Р.М.МУРАДОВ*, Х.Х.ХАЛИЛОВА, О.Б.ТАГИЕВ

*Институт Физики НАН Азербайджана
AZ 1143, г.Баку, пр. Г. Джавида 33
Азербайджанское Высшее Военное Училище им. Г.Алиева*
AZ 1018, г.Баку, ул.Нахимова, 18*

В работе изложены результаты исследования процесса накопления заряда в многослойных структурах типа GaSe-Ga₂O₃-GeO-TiO₂-Me. Показано, что формирование заряда в таких структурах протекает в слое GeO при совместном действии света с энергией кванта более 2,3 эВ и электрического поля. Обнаружено, что перераспределение заряда в пленке GeO приводит к созданию двух заряженных областей, причем одно из них расположено существенно ближе к поверхности полупроводника и оказывает доминирующее влияние на индуцирование заряда в (ОПЗ) GaSe.

В настоящее время перспективным заполняющим устройством (ЗУ) нового поколения ЭВМ является ЗУ с лучевой адресацией [1]. Для таких ЗУ наибольший интерес представляют оптические среды на основе МДП- структур [2]. Роль фоточувствительного слоя в этих запоминающих средах играет область пространственного заряда (ОПЗ) полупроводника. Недостатком их является отсутствие локальной оптической перезаписи информации и неспособность интегрирования такой средой слабых световых потоков в видимой области спектра. Этих недостатков лишены ЗУ на основе МДП- структур с дополнительным фотоэлектретным слоем.

При этом наилучшими параметрами обладают МДП-структуры при использовании в качестве фотоэлектрета пленок халькогенидов мышьяка [3]. Однако сравнительно малое удельное сопротивление и низкая механическая прочность пленок халькогенидов мышьяка лимитируют разрешающую способность и длительность хранения информации. Так как ЗУ должно допускать высокую плотность интеграции, высокое быстродействие записи, считывания и стирания, то оптическая запоминающая среда должна быть обратимой и допускать большое число циклов полной обработки информации. В связи с этим, актуальной задачей является поиск новых материалов фотоэлектрета и полупроводника, работающих в видимой области спектра излучения.

Целью данной работы является исследование процессов записи зарядовой информации, их особенности в многослойных структурах на основе GaSe, содержащих слой фотоэлектрета из GeO в качестве диэлектрика, который ранее опубликован в [4].

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ОБРАЗЦЫ И МЕТОДИКА ИЗМЕРЕНИЙ

Схематический вид исследованных структур приведен на Рис.1. На одной из плоской поверхности пластинки из GaSe (1) толщиной (95÷100)мкм, концентрацией $p=(5\div 8)10^{16}\text{см}^{-3}$, по методу изложенному в [5], выращивали блокирующий диэлектрический слой Ga₂O₃ (0,02÷0,04)мкм (2), на другой поверхности термическим испарением последовательно наносили омический контакт Sn-Ag (3).

Для стабилизации параметров Ga_2O_3 и компенсации акцепторных уровней GaSe в области омического контакта с оловом пластинка нагревалась в вакууме до температуры $(410 \div 420)^\circ C$ в течение двух часов. После чего реактивным напылением в вакууме последовательно наносили пленку GeO $(0,8 \div 1,5) \mu m$ (4) и второй блокирующий слой - пленку TiO_2 $(0,02 \div 0,04) \mu m$ (5) и полупрозрачный электрод (затвора) из никеля (6).

Для изучения степени заряженности диэлектрических слоев изготовленных структур был использован метод высокочастотных $(1 \div 1,5) MГц$ вольт-фарадных характеристик (С-U-характеристик), применяющийся обычно при исследовании МДП-структур.

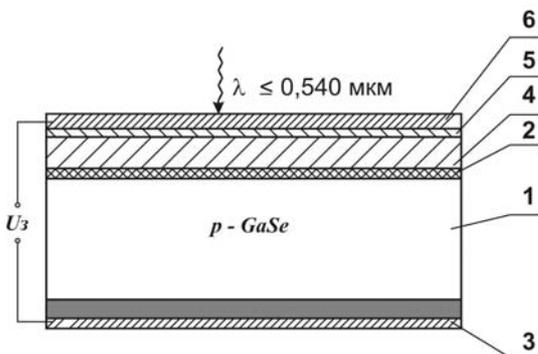


Рис.1.

Схематический вид исследованных структур: GaSe; 2- Ga_2O_3 ; 3- Sn -Ag; 4- GeO; 5- TiO_2 ; 6- Ni.

В нашем случае изменения величины заряда в диэлектриках или его перераспределение должно быть индуцировано соответствующим изменением заряда в ОПЗ GaSe, что проявится в смещении С-U- кривой. Этот сдвиг, измеренный в области плоских зон (ΔU_{FB}), является мерой измерения зарядового состояния фотоэлектретных слоев. Структуры облучались светом при одновременном приложении напряжения (U_0) между электродом затвора и подложкой из GaSe, в качестве источника облучения использовалась лампа накалывания КГМ-150 с монохроматором MDR-4 или лазера ЛГ-31 и ЛГ-62.

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТА И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Были получены следующие результаты. Облучение структур светом $\lambda \leq 0,540 \mu m$ ($h\nu \approx 2,5 эВ$) при одновременном приложении электрического поля приводит к созданию в системе заряда, причем его величина при прочих равных условиях растет с уменьшением λ . Спектральные зависимости указанного заряда коррелируют со спектрами фотопроводимости ($\Delta G/G_T$), спектрами поглощения (α) в пленках GeO (Рис.2).

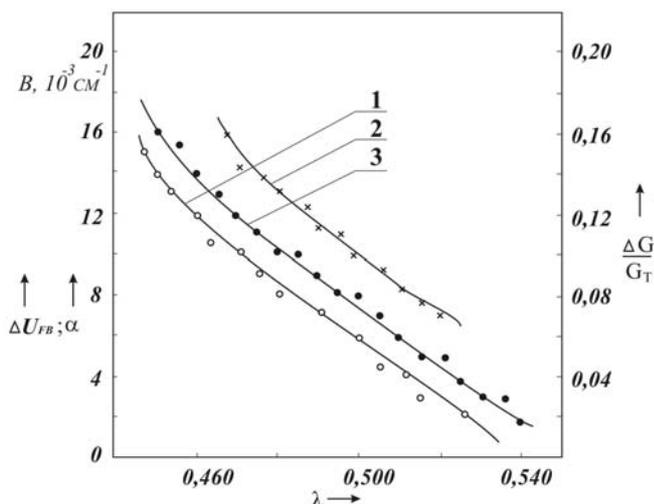


Рис.2.

Спектральные зависимости сдвига С-U-характеристик в области плоских зон исследованных структур -1, фотопроводимости -2 и коэффициент поглощения -3 пленок GeO.

Знак заряда определяется знаком U_z и совпадает с полярностью потенциала затвора. Величина заряда растет на начальной стадии экспоненциально со временем облучения и достигает некоторого значения насыщения U_{FBH} [4]. Значение ΔU_{FB} зависит от U_z и возрастает с увеличением последнего. Скорость формирования заряда возрастает как с ростом U_z , так и интенсивностью света.

Если структуру предварительно зарядить при некотором напряжении U_{z1} и повторно облучить, прикладывая к затору напряжение U_{z2} противоположной полярности, то это приведет к уменьшению заряда противоположного знака в зависимости от соотношения между $|U_{z2}|$ и $|U_{z1}|$.

Как показано, исследование C-U-характеристики, давая информацию об изменении заряда в трехслойном диэлектрике, не позволяет делать определенных заключений о месте его локализации. Для выяснения этого факта было проведено послойное стравливание заряженных под действием облучения структур. После каждого этапа травления блокирующего (TiO_2) и фотоэлектретного слоев на поверхность оставшегося слоя диэлектрика наносился металлический электрод и измерялась C-U-характеристика. Оказалось, что введенный при облучении заряд исчезал после травления слоя GeO.

Таким образом, результаты спектральных измерений, а также экспериментов по травлению позволяют заключить, что процессы формирования заряда в описанных слоистых системах при совместном действии света и поля протекают именно в пленках GeO. С учетом этого факта, а также полученных сведений о поведении вводимого заряда и зависимости процесса зарядки структур от условий облучения можно предположить следующую модель накопления заряда.

Поглощение света в пленке GeO приводит к рождению электронно-дырочных пар в пределах освещенной области пленки, которые в отсутствие электрического поля рекомбинируют. При $U_z=0$ электроны и дырки дрейфуют к противоположным границам раздела GeO и блокирующих диэлектриков и захватываются глубокими ловушками. Такое перераспределение заряда в пленке GeO приводит к созданию двух областей, несущих равный по величине, но противоположный по знаку заряд. Используемый в работе метод C-U-характеристик дает информацию об изменении заряда в ОПЗ полупроводника, которое может происходить при изменении как величины заряда, так и места его локализации. Влияние последнего определяется простыми емкостными соотношениями, т.е. величина индуцированного в ОПЗ заряда обратно пропорциональна расстоянию от плоскости, в которой находится заряд данного знака в диэлектрике, до границы раздела Ga_2O_3 -GaSe. Указанный эффект известен и используется для оценки места локализации зарядов в диэлектрике путем сопоставления C-U- кривых и вольтамперных характеристик [6], поэтому две области заряда в диэлектрическом слое равной величины и противоположного знака, расположенные на разных расстояниях на границе раздела Ga_2O_3 -GaSe, будут оказывать неадекватное влияние на ОПЗ GaSe. В частности, область заряда расположенная ближе к поверхности полупроводника оказывает доминирующее влияние на индуцированные заряды в ОПЗ GaSe, что и обуславливает, в основном, наблюдавшийся сдвиг C-U-характеристик.

На начальных стадиях этого процесса, когда можно считать, что захват носителей определяется одним сортом ловушек с наибольшим сечением захвата и поляризационным полем, образованным вследствие разделения зарядов в пленке GeO, можно еще пренебречь, кинетика образования заряда описывается экспонентой [7], что согласуется с экспериментальной зависимостью $\Delta U_{FB}(t)$ [4].

Накопление заряда при данном смещении U_z должно прекращаться, когда поляризационное поле скомпенсирует поле внешнего источника U_z . Увеличение напряжения смещения приводит к более интенсивному разведению пар в освещенной части пленки GeO и, как следствие, к ускорению процесса накопления заряда и возрастанию количества захваченных на ловушке носителей.

Изменение знака U_z приводит к встраиванию у границы раздела GeO- Ga_2O_3 заряда противоположного знака, что и объясняет уменьшение величины

накопленного заряда, либо возникновение заряда противоположного знака при повторном облучении структуры с измененной полярностью U_z .

Обнаружено, что в случае структур с одинаковыми планарными размерами слоев и небольшими площадями, кроме смещений C-U-характеристик после заряда структуры, наблюдается искажение ее формы, проявляющейся в образовании «плато». В связи с этим было исследовано влияние планарных размеров затвора на процессы записи зарядов информации. Установлено, что форма C-U- кривых заряженных структур практически не изменяется, когда площадь электрода затвора заметно меньше (напр. в четыре раза) площади блокирующих и фотоэлектретного диэлектрика. В то же время в случае структур, планарные размеры слоев которых одинаковы, а площади их очень велики (напр. в нашем случае квадраты со стороной 0,3 см.) наблюдается существенное изменение формы C-U- кривых после заряда структур, заключающееся в образовании «плато» (Рис.3). Его протяженность растет с увеличением длительности облучения и (U_z), а положение зависит от полярности напряжения на затворе: при $U_z > 0$ «плато» расположено в области обогащения полупроводника, а при $U_z < 0$ – в области истощения.

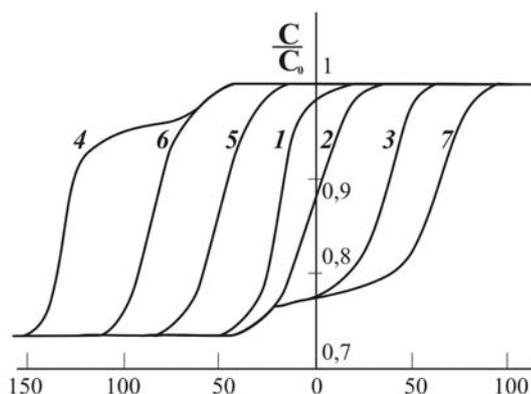


Рис.3.

C-U-характеристики структур с размерами (3,2x3,5)мм до (1) и после (2-7) облучения при $U_z=50В$ как положительной (2-4), так и отрицательной полярности при облучении лампой КГМ-150 через монохроматор МДР-4 ($\lambda=0,460\mu\text{м}$) 2-5 $t=10\text{мин}$; 3-6 $t=10\text{мин}$; 4-7 $t=10\text{мин}$.

Указанные «плато» на высокочастотных C-U-кривых могут быть обусловлены, в принципе, следующими причинами:

- а) уровнем поверхностных состояний на границе раздела полупроводник-диэлектрик (GaSe- Ga_2O_3) [8];
- б) высокой степенью планарной неоднородности заряда в фотоэлектретном диэлектрике (GeO) [9].

Анализируя условия проведения эксперимента и полученные результаты, можно заключить, что создание дефектов на границе раздела GaSe- Ga_2O_3 , играющих роль быстрых поверхностных состояний, в исследованных структурах маловероятно. Во-первых, отсутствовали активные факторы, способные приводить к процессам дефектообразования: кванты света практически не достигали границы раздела GaSe- Ga_2O_3 ; не наблюдалось заметных фототоков через структуры, т.е. потоков носителей с достаточно высокими энергиями из слоя GeO в область границы раздела GaSe- Ga_2O_3 ; слой Ga_2O_3 является хорошим барьером для активных частиц и ионов, которые, в принципе, могут образоваться под действием излучения в пленке GeO и в последствии принять участие в создании поверхностных электрически активных центров [10,11]. Во-вторых, травление слоев TiO_2 и GeO в заряженных структурах приводило к исчезновению наряду с зарядом и указанных «плато». Последнее обстоятельство убедительно доказывает, что наблюдаемое изменение формы C-U-кривых связано с процессами, происходящими в слое фотоэлектрета, а не на границе раздела GaSe- Ga_2O_3 . Таким процессом может являться, как указывалось, неоднородное по площади GeO встраивание (перераспределение) заряда при облучении структуры. Действительно,

если планарные размеры слоев структуры одинаковы, а их площади не очень велики, то процесс перераспределения заряда в фотоэлектрете оказывает заметное влияние на периферические области. Искривление слоев линий электрического поля на краях слоев структуры приводит к возникновению как нормальной, так и тангенциальной составляющих напряженности поля. Такое распределение электрического поля приводит к вытягиванию из периферической в центральную область фотоэлектрета носителей, дрейфующих в слое GeO. Кроме того, более высокая напряженность поля в периферических областях структур может привести к возникновению локальной (краевой) утечки возбужденных светом носителей из слоя GeO через блокирующий диэлектрик на электрод. Оба эти факта при равномерном освещении приводят к тому, что плотность введенного заряда в узкой периферической области ячейки значительно меньше, чем в центральной.

Это предположение подтверждается следующим экспериментом. В заряженных структурах, на C-U-кривых которых имелось «плато», электрод затвора рассекался на центральную и периферическую (по периметру) области. На обеих частях структур измерялись C-U- характеристики. Оказалось, что вид этих C-U-характеристик периферической и центральной части структур существенно отличается по напряжению плоских зон. Их суммирование дает C-U-кривую с «плато», которая практически совпадает с первоначальной до разрушения на две части электрода затвора.

Из вышеприведенных результатов можно сделать следующие выводы:

1. Процесс формирования заряда в описанных системах при совместном действии света и электрического поля протекает в пленках GeO.
2. Перераспределение заряда в пленке GeO приводит к созданию двух заряженных областей, причем одна из них расположена существенно ближе к поверхности полупроводника и оказывает доминирующее влияние на индуцирование заряда в ОПЗ GaSe.
3. Наблюдаемые искажения C-U-характеристики связаны с неоднородным по площади GeO перераспределением заряда при равномерном облучении структуры.

1. И.П.Перов, М.И.Елинсон, *Микроэлектроника*, **6** (1977) 502.
2. В.Н.Зуев, В.Г.Попов, *Фотоэлектрические МДП-приборы*, М., Изд-во «Радио и связь», (1983) 146.
3. Б.С.Борисов, Б.И.Цилибин, *Электронные промышленности*, **5** (1977) 59.
4. Б.Г.Тагиев, А.Б.Меджидов, Р.М.Мурадов и др., *Доклады НАН Азербайджана*, **ЛИК** № 3-4 (2003)78.
5. H.Iwakura, C.Tatuyata and S.Ienimuro, *Jap. Jour. of Appl. Phys.*, **21** (1982) 94.
6. D.J.Di Maria, *J. Appl. Phys.*, **47** (1976) 4073.
7. И.П.Лисовский, *УФЖ*, **24** (1979) 1866.
8. K.H.Zaninger, F.R.Heiman, *Solid State Techn.*, **13** №5 (1970) 49, **13**№ 6 (1970) 42.
9. M.I.McNutt, C.T.Sah, *J. Appl. Phys.*, **45** (1974) 3916.
10. V.G.Litovchenko, I.P.Lisovskii, R.O.Litvinov, *Application Surf. Sei.*, **6** (1980) 15.
11. Н.А.Власенко, И.П.Лисовский, Ф.А.Назаренков, *УФЖ*, **29** (1984) 111.

**GaSe və GeO FOTOELEKTRET ƏSASINDA ÇOXTƏBƏQƏLİ QURULUŞLARDA
YÜKLƏRİN YİGİLMA PROSESİ**

A.B.MƏCİDOV, R.M.MURADOV, H.X.XƏLİLOVA, O.B.TAĞIYEV

Bu işdə çoxtəbəqəli GaSe-Ga₂O₃-GeO-TiO₂-Me tipli quruluşlarda yüklərin yığılma prosesinin tədqiqindən alınmış nəticələr əks olunmuşdur. Göstərilmişdir ki, belə quruluşlara eyni vaxtda kvant enerjisi 2,3eV-dan çox olan işıq dalğaları və elektrik sahəsinin təsirindən yükdaşıyıcıların formalaşma prosesi GeO təbəqəsində baş verir. Müəyyən edilmişdir ki, GeO təbəqədə yükdaşıyıcıların paylanması iki yüklənmiş sahənin yaranmasına gətirib çıxarır. Onlardan biri yarımkəçiricinin səthinə yaxın sahədə yerləşərək, GaSe-nin FYS-də induksiya olunmuş yüklərin yaranmasına əsas təsir göstərir.

**PROCESS OF ACCUMULATION OF CHARGES IN MULTILAYER STRUCTURES BASED ON
GaSe and GeO PHOTOELECTRETE**

A.B.MEJIDOV, R.M.MURADOV, H.Kh.KHALILOVA, O.B.TAGIEV

The results of researches of the process of accumulation of charge in multilayer structures of GaSe-Ga₂O₃-GeO-TiO₂-Me type have been presented. It was shown that the formation of charges in such structures proceeds in GeO layer under the combined effect of electric field and light with over 2,3 eV quantum energy. It was revealed that redistribution of charge in GeO film leads to the creation of two-charged fields, one of which is located closer to the surface of semiconductor and exerts dominating influence on charge induction in the spatial charge field (SCF) of GaSe.

Редактор: Э.Гусейнов