

ВЛИЯНИЕ ГЛУБОКИХ ЦЕНТРОВ НА С-V ХАРАКТЕРИСТИКИ СТРУКТУР МЕТАЛЛ- $Cd_xHg_{1-x}Te$ ($x=0.25-0.3$)

А.А.АЛИЕВ, Н.Д.ИСМАЙЛОВ, Ш.М.КУЛИЕВ, Е.А.МАМЕДОВА

*Институт Физики НАН Азербайджана
AZ 1143, г.Баку, пр.Г.Джавида 33*

Исследованы ВАХ, С-V зависимости барьеров Шоттки на основе $Cd_xHg_{1-x}Te$ n и p – типов проводимости при $T=77K$. Установлено, что нелинейность зависимости и скачкообразное изменение ёмкости, наблюдаемые при некоторых прямых напряжениях низкочастотной ВФХ, обусловлены наличием большой концентрации примесей, образующих глубокие центры в запрещенной зоне. Анализом зависимостей найдены значения глубины залегания и концентрация глубоких центров.

ВВЕДЕНИЕ

Неослабевающий интерес к монокристаллам твердых растворов $Cd_xHg_{1-x}Te$ из-за их широкого применения в оптоэлектронике стимулирует всестороннее исследование их физических свойств, в том числе микроскопических. Наличие большой концентрации дефектов рекомбинационных центров в запрещенной зоне, неоднородностей по составу и концентрации примесных центров в узкозонном $Cd_xHg_{1-x}Te$ накладывает фундаментальное ограничение при создании структур типа p-n, МДП и М-П для элементов оптоэлектроники [1,2]. Поэтому важной задачей является контроль и оптимизация структурных и электрофизических параметров всех слоёв этих структур. С этой точки зрения весьма ценную информацию о параметрах глубоких центров можно получить методом ёмкостной спектроскопии структур с p-n переходами и барьерами Шоттки. Преимуществом барьеров Шоттки, для изготовления которых не требуется проведения термодиффузии при высокой температуре, ионной имплантации, высокотемпературного отжига, заключается и в том, что исключение этих операций позволяет избежать возникновения неконтролируемых глубоких центров в приповерхностной области. В работе [2] для всех исследованных барьеров Шоттки и p-n⁺ переходов на основе $Cd_xHg_{1-x}Te$ в спектрах DLTS не удалось обнаружить сигналов, связанных с глубокими центрами, что обуславливается значительным туннельным обменом между глубокими уровнями и разрешёнными зонами. В то же время, наличие глубоких центров приводит к изменению формы С-V характеристик барьерных структур, что позволяет путем анализа этих характеристик определить глубину залегания и концентрацию таких центров.

Целью данной работы является определение параметров глубоких центров, исходя из особенностей С-V характеристик структур металл- $Cd_xHg_{1-x}Te$, обусловленных наличием таких центров.

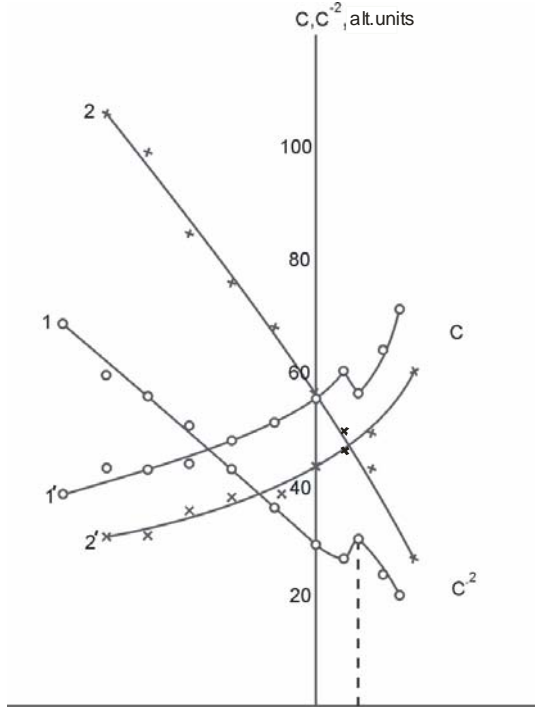
ЭКСПЕРИМЕНТ

Исследованные структуры создавались на основе компенсированных монокристаллов $Cd_xHg_{1-x}Te$ ($x=0.25\div 0.3$) n-типа проводимости с $N_d-N_a=(1-3)\cdot 10^{14}cm^{-3}$ и $\mu=(3\div 6)\cdot 10^4cm^2/V\cdot s$, а также некомпенсированных монокристаллов p-типа проводимости с $N_a=(3\div 5)\cdot 10^{15}cm^{-3}$ и $\mu_p=(4.5\div 5.5)\cdot 10^2cm^2/V\cdot s$ при $T=77K$. Поверхность пластин подвергалась химико-механической полировке с последующим травлением в 4% бромсодержащем травителе. Омические контакты создавались электрохимическим осаждением индия. Непрозрачный слой металла, формирующий барьер Шоттки, осаждался через маску

термическим испарением в вакууме. Вольтамперные характеристики (ВАХ) измерялись на характериографе при частоте 50Гц, а вольт-фарадные – резонансным методом на частотах 0.1÷5 МГц. Все измерения проводились при T=77К.

ВАХ всех исследуемых структур имели выпрямляющий характер, свидетельствующем о том, что полученные структуры являются структурами с барьером Шоттки.

На низкочастотных вольт-фарадных характеристиках (ВФХ) при некотором прямом напряжении $U=U_1$ для некоторых структур наблюдается скачкообразное



изменение емкости и наклона зависимости $C^{-2}(U)$, причем емкость уменьшается для структур, созданных на монокристаллах Cd_xHg_{1-x}Te как n-типа, так и p-типа проводимости. С увеличением частоты тестирующего напряжения ВФХ сглаживается, хотя нелинейность зависимости $C^{-2}(U)$ сохраняется, а величина высокочастотной емкости (C_{hf}) уменьшается по сравнению с низкочастотной емкостью (C_{lf}) (Рис.1). Нелинейность зависимости $C^{-2}(U)$ наблюдается для структур, созданных на монокристаллах Cd_xHg_{1-x}Te обоих типов проводимости, но скачкообразность $C_{lf}(U)$ наблюдается не всегда.

Рис.1.

$C(U)$ и $C^{-2}(U)$ зависимости исследованных структур:
1, 1' - низкочастотная, 2, 2' - высокочастотная

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Анализ полученных результатов начнем с поведения ВАХ. Полученные зависимости аппроксимировались выражением :

$$I=I_s [\exp(\alpha U) - \exp(\alpha^*U)], \quad (1)$$

где $\alpha=d(\ln I_f)/dU=e/(\beta kT)$ и $\alpha^*=d(\ln I_b)/dU=e/(\beta^* kT)$, β, β^* - коэффициенты идеальности для прямой и обратной ветвей ВАХ, соответственно.

Построенная на основе экспериментальных данных зависимость $\alpha(U)$ имела максимум при некотором значении приложенного напряжения U_1 . Такое поведение $\alpha(U)$ характерно для генерационно-рекомбинационного тока, протекающего в структуре с глубоким уровнем E_t в запрещенной зоне.

Скачкообразное изменение зависимости $C(U)$ объясняется влиянием заряда глубоких примесных центров. При напряжениях, когда глубокие уровни лежат ниже уровня Ферми (E_F) и заполнены электронами, изменение ёмкости не наблюдается. Переход к напряжениям, при которых глубокие уровни пересекают уровень E_F и происходит их перезаполнение, сопровождается изменением ёмкости C_{lf} структуры. При этом ёмкость уменьшается независимо от типа проводимости полупроводника. Действительно, для n-типа при отсутствии приложенного напряжения ёмкость области пространственного заряда (ОПЗ) определяется зарядом ионизированных доноров $N_f=N_D^+$, так как глубокие акцепторные уровни E_t находятся выше E_F и нейтральны. При прямых напряжениях, когда уровни E_t находятся ниже E_F , заряд ОПЗ уже составляет $N_f=N_D^+-N_t^-$, и, соответственно, ёмкость уменьшается. Для p-типа ситуация следующая, в исходном состоянии $N_f=N_A+N_t^-$ и при $U>U_1$, когда уровни E_t находятся выше E_F и нейтральны $N_f=N_A$, т.е.ёмкость опять уменьшается. По зависимостям $C_{lf}(U)$ и $C_{hf}(U)$ можно определить положение E_t и

концентрацию глубоких уровней N_t в запрещенной зоне, пользуясь выражениями, приведенным в [3], без учета влияния диэлектрического зазора и поверхностных электронных состояний (для n-типа):

$$C_{\text{hf}}^{-2} = \frac{2}{\varepsilon_a S^2 e^2 (N_D - N_t)} \left[\varphi_b - \frac{(E_t - E_F)}{N_D - N_t} + eU \right] \quad (2)$$

при $\omega \ll 1/\tau_t$,

$$C_{\text{hf}}^{-2} = \frac{2}{\varepsilon_a S^2 e^2 N_D} \left[\varphi_b - \frac{(E_t - E_F)}{N_D - N_t} + eU \right] \quad (3)$$

при $\omega \gg 1/\tau_t$, где $\varepsilon_a = \varepsilon_0 \varepsilon$ – абсолютная диэлектрическая проницаемость полупроводника, S – площадь барьера Шоттки, τ_t – время заполнения уровня.

Изменение тем больше, чем больше N_t/N_D и при $N_t \gg N_D$, $C_{\text{hf}}/C_{\text{lf}} = N_D/N_t$. В соответствии с [4] энергия глубокого уровня определяется из выражения: $E_t = \varphi_b + E_F - U_1$. Используя значения φ_b , найденные из анализа ВАХ, и U_1 из C-V зависимости, найдено значение $E_t = 0,08 \pm 0,1 \text{ эВ}$, т.е. около середины запрещенной зоны. Данные значения E_t совпадают со значениями, полученными в других работах [5,6], и обусловлены двукратно ионизированными вакансиями слабосвязанных атомов Hg^{-2} , присущими $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$. Оценивая их концентрацию по вышеприведенным выражениям, получаем $N_t \geq 3 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$. Отметим, что влияние поверхностных состояний неоднородности распределения примеси и разная степень компенсации приводят к сглаживанию C-V характеристики и сильному разбросу в определении значений E_t , N_t .

1. Н.Р.Ангин, В.В.Антонов, А.В.Войцеховский, М.Р.Пашковский, *Зарубежная электронная техника*, № 5 (1984) 18.
2. А.А.Алиев, Э.К.Гусейнов, Н.Д.Исмаилов, Ш.М.Кулиев, *Transaction of Azerbaijan Academy of Sciences, Series of Physical-mathematical and Technical sciences, Physics and Astronomy*, XXIII № 5(1) (2003) 138.
3. В.В.Завьялов, В.Ф.Раданцев, Т.Н.Дерябина, *ФТП*, **26** (1992) 691.
4. В.И.Стриха, *Теоретические основы работы контакта металл-полупроводник. Киев, Наукова думка*, (1974) 264.
5. В.В.Антонов, А.В.Войцеховский, Е.П.Казак, *Поверхность. Физика, Химия, Механика*, № 4 (1984) 573.
6. М.Г.Андрухив и др., *ФТП*, **13** (1979) 362.

DƏRİN MƏRKƏZLƏRİN METAL- $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$ STRUKTURLARIN J-V XARAKTERİSTİKALARINA TƏSİRİ

Ə.Ə.ƏLİYEV, N.J.İSMAYILOV, Ş.M.QULİYEV, E.A.MƏMMƏDOVA

$T=77\text{K}$ temperaturunda n və p tipli $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$ əsasında yaradılmış Şottki baryerlərinin V-A və J-V xarakteristikaları tədqiq edilmişdir. Müəyyən edilmişdir ki, J-V xarakteristikasının qeyri xəttliyi və tutumun müəyyən düz istiqamətli gərginlikdə müşayiət olunan çevik dəyişikliyi, qadağan olunmuş zolağda dərin səviyyələr yaradan yüksək konsentrasiyada aşqarların mövjudluğu ilə əlaqədardır. Tədqiq olunan xarakteristikaların təhlili yolu ilə dərin mərkəzlərin səviyyəsi və konsentrasiyası müəyyən edilmişdir.

INFLUENCE OF THE DEEP LEVELS ON THE METAL- $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$ STRUCTURES C-V CHARACTERISTICS

A.A.ALIYEV, N.J.ISMAYLOV, S.M.KULIYEV, E.A.MAMEDOVA

At the $T=77\text{K}$ the V-A and C-V characteristics of the Shottki barriers on the n- and p-type $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$ basis was investigated. It was established that the non-linearizing of the C(U) and strong changing of capacity which was observed at some forward bias on the low-frequency C-V characteristics was interpreted by the existing of the high concentration of dopes created deep levels in the forbidden zone. By the analyses of the investigated characteristics the deep level mean and concentration was determined.

Редактор: Дж.Абдинов