

ОПТОГАЛЬВАНИЧЕСКИЙ МЕТОД РЕГИСТРАЦИИ НАНООБЪЕКТОВ

Н.В. Генц, С.Н. Баршутин, В.Н. Чернышов

ФГБОУ ВПО «Тамбовский государственный технический университет», г. Тамбов

Рецензент д-р техн. наук, профессор Д.Ю. Муромцев

Ключевые слова и фразы: диэлектрический слой; материал исследуемой среды; наноструктурный материал; потенциальная яма; твердотельная туннельно-резонансная структура; электромагнитное излучение.

Аннотация: Рассмотрена возможность применения оптогальванической спектроскопии для контроля концентрации нанообъектов в ионизированной газовой среде твердотельным первичным измерительным преобразователем. Приведено описание сущности оптогальванического эффекта. Представлен процесс получения твердотельной туннельно-резонансной структуры для использования ее в качестве первичного измерительного преобразователя. Показана и описана схема для реализации метода контроля концентрации нанообъектов с помощью оптогальванической спектроскопии.

На сегодняшний день существует множество методов контроля параметров наноструктурных материалов. Одним из современных и наиболее перспективных методов количественного анализа вещества является оптогальваническая спектроскопия (ОГС), которая нацелена на определение состава вещества и его концентрации и основана на изменении электрических характеристик объекта под действием света. Этот эффект получил название оптогальванического (ОГЭ) [1]. Одним из направлений развития метода регистрации ОГЭ является использование твердотельной туннельно-резонансной структуры (ТРС) в качестве исследуемой среды.

Известно, что структура туннельно-резонансного диода состоит из двух слоев диэлектрического материала, формирующих два энергетических барьера, между которыми располагается слой полупроводника, выступающий в роли квантовой ямы. С двух внешних сторон этой двухбарьер-

Генц Наталия Владимировна – аспирант кафедры «Радиотехника», e-mail: lanta_nat@mail.ru; Баршутин Сергей Николаевич – кандидат технических наук, доцент кафедры «Материалы и технология»; Чернышов Владимир Николаевич – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Уголовное право и прикладная информатика в юриспруденции», ТамбГТУ, г. Тамбов.

ерной структуры располагаются слои полупроводника, причем с одной стороны n -, с другой – p -типа проводимости. Движение заряженных частиц в таких структурах подчиняется следующему закону

$$I = -\frac{eSm}{2\pi^2\hbar^3} \int_0^{E_\mu} (E_\mu - E) \frac{|D|^2 \left(\frac{\hbar}{\tau_n}\right)^2}{\left(E - E_0 - \frac{eV}{2}\right)^2 + \left(\frac{\hbar}{\tau_n}\right)^2} dE, \quad (1)$$

где e – заряд электрона; S – площадь поверхности туннельно-резонансной структуры; m – масса электрона; E_μ – энергия уровня Ферми; E – энергия; $|D|^2$ – коэффициент прохождения заряженных частиц через структуру; V – падение напряжения на двух барьерах; τ_n – время релаксации электронов квазистационарного состояния с номером n .

Рассмотрим данную структуру в поле электромагнитного излучения. Известно, что при взаимодействии излучения с низкоразмерными системами доминирует поглощение этого излучения, тем самым провоцируя переходы электронов с низших энергетических уровней на более высокие. Переходы вверх возможны, когда энергия кванта излучения $\hbar\omega$ совпадает с энергией энергетического уровня, то есть при освещении туннельно-резонансной структуры происходит увеличение ее электрической проводимости.

С другой стороны, физика процесса в таких структурах при воздействии энергии излучения похожа на процессы, проходящие при возникновении ОГЭ, сущность которого состоит в том, что поглощение света приводит перераспределение населенностей уровней атомов или молекул. В результате различных радиационных, и (или) столкновительных, и (или) коллективных процессов происходит изменение плотности заряженных частиц, их подвижности и энергии, что сказывается на ионизационном балансе и проводимости объекта. Ионизация происходит в результате дополнительных (по отношению к поглощению) процессов.

Из этого следует, что описание процессов, происходящих при воздействии излучения на туннельно-резонансную структуру, возможно при помощи моделей процессов ОГЭ. Таким образом, учитывая, что ОГЭ используется при определении состава вещества и его концентрации, можно разработать метод определения концентрации нанобъектов, используя в качестве исследуемой среды ТРС с квантовыми точками, представляющими собой наноструктурные объекты.

Выполнение твердотельного измерительного элемента осуществляется на базе пластины полупроводникового материала (либо металла), из которого вырезают кристалл 1 (рисунок). На поверхности слоя 1 формируют диэлектрический слой 2, толщиной до 10 нм. При этом материал диэлектрика выбирают в зависимости от материала полупроводника из расчета близости их кристаллических структур. Варианты формирования диэлектрического слоя могут включать термическое окисление, термическое напыление, магнетронное напыление и т.д. Затем на поверхность диэлектри-

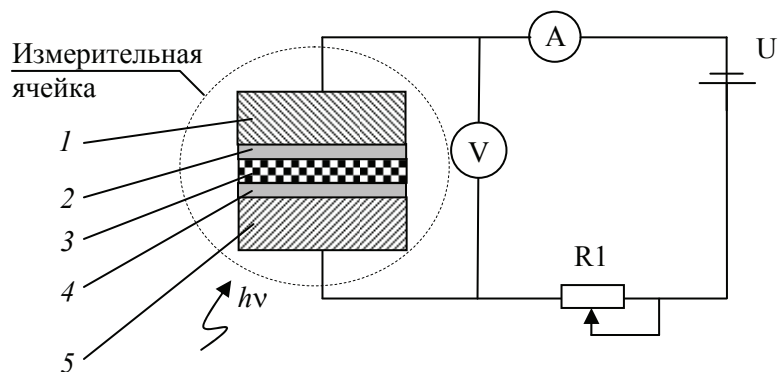


Схема для регистрации ОГЭ

ческого слоя наносят слой наноструктурного материала 3 (исследуемая среда). Для получения слоя 3 раствор нанообъектов, полученный с помощью плазмохимического синтеза [2], смешиваем с цапонлаком, содержащим нитроклетчатку, для достижения клейкости. Варьируя соотношениями этих растворов и изменяя их объем нанесения, экспериментально можем изменить толщину наносимой пленки.

Подложка закрепляется в центрифуге и раскручивается до 2000 об/мин. Приготовленный раствор наносится на поверхность, где образуется равномерная наноструктурированная пленка. Для усадки и дубления пленки заготовку помещают в печь, нагретую до температуры 150...200 °С, на 20 мин.

Далее на сформированный слой из исследуемого наноматериала методом магнетронного напыления в вакууме наносят диэлектрический слой 4, идентичный материалу диэлектрика слоя 2. Затем на поверхность последнего диэлектрического слоя термическим напылением в вакууме наносят прозрачный слой из проводящего материала 5 (например оксид олова). В результате получают измерительную ячейку, представляющую собой ТРС, где квантово-размерный слой, формирующий потенциальную яму, находится между двумя барьерными слоями и изготовлен из материала исследуемой среды. Затем полученную в результате вышеописанных операций ТРС подключают к схеме, состоящей из последовательно соединенных блока питания, регистратора тока, переменного резистора и параллельно подключенного к туннельно-резонансной структуре регистратора напряжения (см. рисунок).

Работа выполнена в рамках государственного контракта № 14.741.12.0150 федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 годы.

Список литературы

1. Оптогальванический эффект в плазме и газе / В.Н. Очкин [и др.] // Успехи физ. наук. – 1986. – Т. 148, вып. 3. – С. 473–475.

2. Пат. 2371381 Российская Федерация, МПК В 82 В 3/00, С 30 В 30/00, С 30 В 29/60. Способ и устройство плазмохимического синтеза нанообъектов / Баршутин С.Н., Шелохвостов В.П., Чернышов В.Н., Платенкин А.В. ; заявитель и патентообладатель Тамб. гос. техн. ун-т. – № 2007147155/15 ; заявл. 18.12.07 ; опубл. 27.10.09, Бюл. № 3. – 14 с.

The Optogalvanic Method of Recording Nanoobjects

N.V. Gents, S.N. Barshutin, V.N. Chernyshov

Tambov State Technical University, Tambov

Key words and phrases: dielectric layer; electromagnetic radiation; material of the medium; nanostructured material; potential well; solid-state resonant tunneling structure.

Abstract: The paper considers the possibility of using optogalvanic spectroscopy for monitoring the concentration of nanoobjects by the solid primary sensor in the ionized gas. The description of the essence of the optogalvanic effect is given. The process of obtaining solid-state resonant tunneling structures for the use as the primary sensor is presented. The scheme for the implementation of control over the concentration of nanoobjects through the optogalvanic spectroscopy is shown and described.

© Н.В. Генц, С.Н. Баршутин, В.Н. Чернышов, 2011