

направлений. Четверные полупроводники на основе сульфидов меди, цинка, олова–кестерита $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$ (CZTS) интенсивно исследуются в последнее время для использования в качестве слоя-поглотителя тонкопленочных фотовольтаических элементов благодаря оптимальному значению ширины запрещенной зоны (1,5 эВ) и высокому коэффициенту оптического поглощения (10^4 см^{-1}). Все составные элементы (и исходные реактивы) нетоксичны и достаточно широко распространены в природе, что позволяет сократить стоимость при высокой эффективности фотопреобразования (достигнутая эффективность фотоэлементов превысила 12 % в 2014 г.).

Для формирования пленок $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$ использовали метод SILAR, как наиболее простой и экономичный способ формирования многокомпонентных полупроводниковых соединений. Растворы осаждения имели следующий состав: катион-содержащего прекурсора 0.1 М CuSO_4 , 0.05 М ZnSO_4 , 0.05 М SnCl_2 (раствор 1) и анион-содержащего прекурсора 0.2 М Na_2S (раствор 2). Толщина пленок составляла от 0,1 до 0,7 мкм. В качестве подложки для осаждения пленок кестерита использовали наноструктурированный слой алюминия, полученный после удалением анодного пористого оксида алюминия.

Структурно-фазовые исследования показали наличие в свежесоздаваемых пленках двух соединений Cu_2SnS_3 и ZnS . В результате химического взаимодействия во время отжига при температуре 250°C в течение 2 ч были получены пленки $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$. Использование наноструктурированного основания позволило повысить эффективность поглощения солнечного излучения. Установлено также влияние наноструктурированной подложки на эффективную ширину запрещенной зоны.

ПЛАЗМОННЫЕ ЭФФЕКТЫ В ГРАФЕНОВОЙ ПОЛЕВОЙ ГЕТЕРОСТРУКТУРЕ

А.В. Фельшерук, А.Л. Данилюк

Динамическая проводимость, определяемая концентрацией носителей заряда и химическим потенциалом, также зависит от потенциала полевого электрода, что, в конечном счете, ведет к изменению параметров взаимодействия электромагнитного излучения (ЭМИ) с графеновым слоем в полевой графеновой гетероструктуре. В данной работе представлены результаты расчетов коэффициентов распространения и поглощения электромагнитного излучения в терагерцевом диапазоне (1–15 ТГц) в зависимости от величины потенциала полевого электрода, температуры, толщины диэлектрика и плотности поверхностных состояний на границе раздела металл/диэлектрик. Уравнения, описывающие взаимодействие ЭМИ с графеном, выводятся из уравнений Максвелла, а дисперсионное соотношение, содержащее коэффициенты распространения и поглощения, из условия нетривиальности решений для этих уравнений. В свою очередь величина химического потенциала связана с величиной потенциала затвора и концентрацией носителей заряда уравнением электростатики гетероструктуры. Эти зависимости определяются с использованием интегрального уравнения для концентрации носителей заряда и электростатического уравнения для гетероструктуры графен/диэлектрик/металл. Рассчитаны частотные зависимости динамической проводимости, коэффициентов распространения и поглощения при варьировании потенциала полевого электрода, толщины диэлектрика и плотности поверхностных состояний, температуры. Установлено, что в зависимости от сочетания параметров гетероструктуры наряду с монотонными возникают также и немонотонные частотные зависимости коэффициентов распространения и поглощения. Полученные частотные зависимости коэффициентов распространения и поглощения ЭМИ показали, что в рассмотренном диапазоне частот ЭМИ может не только распространяться, но также и усиливаться за счет плазмонных колебаний.

ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ HSPICE ДЛЯ СХЕМОТЕХНИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ИНТЕГРАЛЬНЫХ МИКРОСХЕМ

В.Т. Ханько

Непрерывное уменьшение геометрических размеров элементов ИМС, применение новых конструктивных решений и материалов при их производстве сопровождается появлением новых физических эффектов, механизмов генерации и транспорта носителей

заряда в приборах, изготовленных в соответствии с нанометровыми проектными нормами.

Модель HiSIM основана на решении уравнения Пуассона в предположении, что толщина инверсионного слоя равна нулю, и в приближении плавного канала. Эти допущения позволяют получить аналитические зависимости для всех характеристик транзистора в виде функции от поверхностного потенциала у истока и стока [1].

Модель HiSIM2 решает уравнение Пуассона численными методами, что позволяет точно воспроизвести производные тока стока по напряжениям на затворе и стоке. Многие модели МОП-транзисторов используют нефизические параметры для сглаживания электрических характеристик при переходах между различными режимами работы. Модель HiSIM2 использует только один набор уравнений с физическими параметрами, адекватно описывающий функционирование приборов во всех режимах работы. Понятие поверхностного потенциала позволяет получить одно общее выражение для суммы диффузионного и дрейфового тока, что исключает необходимость применения сглаживающих функций.

Посредством использования модуля UTMOST программного комплекса Silvaco проведена экстракция параметров модели HiSIM2 для *n*-МОП-транзисторов, изготовленных по технологии, обеспечивающей минимальную длину канала 90 нм. При этом использовалась стратегия экстракции с применением методов оптимизации генетического алгоритма и Левенберга-Марквардта [2]. Для экстракции параметров модели HiSIM2 был использован набор МОП-транзисторов с различной длиной канала (90 нм, 130 нм, 180 нм, 500 нм, 1 мкм, 2 мкм, 5 мкм, 10 мкм). Относительная погрешность вольт-амперных характеристик, рассчитанных с использованием экстрагированного набора параметров модели HiSIM2, в сравнении с экспериментальными данными составила не более 7 %.

Литература

1. Денисенко, В. Компактные модели МОП-транзисторов для SPICE в микро- и наноэлектронике / В. Денисенко. – Москва : ФИЗМАТЛИТ, 2010. – 408 с.
2. Mattausch, H. The HiSIM compact model family for integrated devices containing a surface-potential MOSFET core / H.J. Mattausch, M. Miura-Mattausch, N. Sadachika, M. Miyake // Mixed Design of Integrated Circuits and Systems, 2008. MIXDES 2008. – P. 39–50.

ТЕПЛОВОЕ СКАНИРОВАНИЕ ОТПЕЧАТКА ПАЛЬЦА ЧЕЛОВЕКА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПЕРФОРИРОВАННОЙ МАСКИ ИЗ АНОДНОГО ОКСИДА АЛЮМИНИЯ

П.А. Хицун

Известно множество способов защиты как информации, так и физических объектов, которые применяются в зависимости от необходимого уровня безопасности для конкретного объекта. Одними из таких способов защиты являются биометрические системы, а точнее системы идентификации по отпечаткам пальцев. Такие системы приобрели широкое распространение и в дальнейшем имеют хорошие перспективы развития за счет своей адаптивности. Внедрение биометрических технологии и, в частности распознавания отпечатков пальцев, значительно усиливает степень защиты объекта, а также заметно увеличивает качество идентификации за счет исключения необходимости в специальной карте, пропуске, ключе, нужен только уникальный отпечаток, который невозможно забыть или потерять. Системы основанные на дактилоскопии сравнивают полученный отпечаток памяти с другими отпечатками, которые хранятся в базах системы или же с отпечатком конкретного человека, способ сравнения также зависит от сферы применения данной технологии.

Термосканеры (Thermal Scanners) – в таких устройствах используются датчики, которые состоят из пироэлектрических элементов, позволяющих фиксировать разницу температуры и преобразовывать ее в напряжение. При прикладывании пальца к сканеру по температуре прикасающихся к пироэлектрическим элементам выступов папиллярного узора и температуре воздуха, находящегося во впадинах, строится температурная карта поверхности пальца, которая в дальнейшем преобразуется в цифровое изображение. Температурный метод имеет множество преимуществ: высокая устойчивость к электростатическому разряду; устойчивая работа в широком температурном диапазоне; эффективная защита от муляжей.