

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