

Чуприна Евгения Андреевна

студентка

ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский университет

«Московский институт электронной техники»

г. Москва

**ИССЛЕДОВАНИЯ МАТЕРИАЛОВ И СТРУКТУР,  
ПРИМЕНЯЕМЫХ ДЛЯ СОЗДАНИЯ ЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ  
ДАТЧИКОВ ИК-ИЗЛУЧЕНИЯ**

*Аннотация:* в статье рассматриваются перспективные разработки материалов и методов создания тонких пленок, используемых в матрицах датчиков ИК-излучения. Показаны преимущества и недостатки описанных материалов. Приведены характеристики экспериментальных устройств на основе полученных пленок.

*Ключевые слова:* датчик, микросенсор, ИК-излучение, тонкие пленки, материалы, методы создания.

В настоящее время высокочувствительные микросенсорные приборы находят все более широкое применение как в военной технике и вооружении, так и в мирных областях – пожарно-спасательном деле, медицине, технической диагностике. Это обусловлено развитием и удешевлением технологии производства компонентов микросенсоров, а также новыми разработками в микро- и нанотехнологиях.

Применение микроприборов в новых областях, однако, выдвигает новые требования к их конструкции и функциональным возможностям. Наиболее важные из них – снижение массогабаритных параметров, повышение чувствительности и разрешающей способности, расширение рабочего диапазона, экономия потребляемой мощности. В связи с этим проводятся исследования новых материалов и структур, которые могут использоваться для создания чувствительных элементов датчиков инфракрасного излучения.

Одним из материалов, используемых для создания матриц ИК-датчиков, является оксид ванадия. Технология изготовления пленок на его основе была

создана в 1980-х, однако до настоящего времени ведутся работы над различными ее модификациями, как, например, использование золь-гель процесса – получение материалов из коллоидного раствора с образованием геля на одной из стадий процесса.

Золь-гель метод обладает целым рядом достоинств по сравнению с традиционными способами изготовления тонких пленок. Он отличается простотой и дешевизной, не требует сложного технологического оборудования, что чрезвычайно важно при массовом производстве. Этот метод позволяет наносить тонкопленочные покрытия на подложки большой площади и сложной формы при низких температурах, относительно легко осуществлять легирование, например, вводя примеси на этапе приготовления золя. Более того, метод позволяет получать такие «экзотические» объекты, как нанотрубки оксидов переходных металлов, включая оксид ванадия.

Для получения наноструктурированных пленок оксида ванадия также используется метод импульсного лазерного осаждения. При осаждении VO<sub>x</sub> на подложки кремния и поликорда при различных температурах в атмосфере O<sub>2</sub> могут быть получены пленки, имеющие поликристаллическую структуру, с увеличивающейся шероховатостью при увеличении температуры подложки. При использовании подложек из поликорда возможно получение пленок с постоянным объемом зерен в широком диапазоне температур. Управлением температурой подложки возможно формировать пленки с заданными удельным сопротивлением и температурным коэффициентом сопротивления (ТКС) (от 10<sup>6</sup> до 10 Ом·см и ТКС с 0,45 до 0,20%/К при повышении температуры подложки) [4]. Пример – фотоприемное устройство формата 320x240 на основе матричного микроболометрического приемника. Достигнута разность температур, эквивалентная шуму, менее 100 мК при угле зрения 60° и частоте кадров 50 Гц [3].

Поликристаллический силицид германия Si<sub>1-x</sub>Ge<sub>x</sub> может быть получен в результате твердофазной кристаллизации пленки из аморфного силицида германия (aSiGe). Такая кристаллизация может происходить при низких температурах, но

требует, по крайней мере, нескольких часов для формирования пленки поликристаллического материала на подложке SiO<sub>2</sub>.

Несмотря на относительно небольшие значения ТКС (0.68–2% / С), болометрические детекторы на основе поликристаллического SiGe обеспечивают хорошие пороговые характеристики (обнаружительная способность до  $2.26 \times 10^9 \text{ см} \times \text{Гц}^{0.5}/\text{Вт}$ ). Болометры на основе поликристаллического силицида германия имеют существенно большие значения обнаружительной способности, чем, например, болометры на основе aSi0.1Ge0.9 ( $10^5 \text{ см} \times \text{Гц}^{0.5}/\text{Вт}$ ) из-за меньших шумов в детекторах на основе поликристаллического силицида германия [1].

Твердый раствор теллурида-кадмия-ртути (КРТ) пригоден для создания фотоприемников, в том числе многорядного и матричного типов, ближнего и среднего ИК диапазонов, которые работоспособны при охлаждении до промежуточных температур 180–200 К и находят применение в различной аппаратуре гражданского и военного назначения. Для реализации потенциальной возможности получения ИК-фотоприемников, работающих при температурах, близких к комнатной, необходимо получить фотодиоды с низкими темновыми токами. Среди диодов на основе КРТ минимальные темновые токи имеют диоды, изготовленные по технологии *p*-карман в *n*-базе. Для такой технологии в первую очередь необходимы пленки КРТ *n*-типа проводимости, легированные внешней донорной примесью в диапазоне концентраций  $10^{15} – 10^{16} \text{ см}^{-3}$ .

В работе [6] в результате исследования методом МЛЭ были выращены слои Cd<sub>x</sub>Hg<sub>1-x</sub>Te с  $x = 0.35–0.40$ , имеющие высокую однородность состава по площади. Показано, что данные гетероструктуры могут быть использованы для изготовления матричных фотоприемников ближнего ИК-диапазона с числом пикселей более  $10^6$  и разбросом длинноволновой границы фоточувствительности менее 0.2 мкм. Легированные в процессе роста индием в диапазоне  $(0.5 – 3) \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$  пленки Cd<sub>x</sub>Hg<sub>1-x</sub>Te/Si(310), подвергнутые двухстадийному отжигу (360°С 2 ч и 220°С 24 ч) при насыщенном давлении паров ртути сохраняют *n*-тип проводимости, что показывает возможность использования пленок в

качестве базы *n*-типа для изготовления *p*-на *n*-фотодиодов, в которых *p*-тип легирован мышьяком.

Структура CdHgTe также может применяться и в приемниках терагерцового излучения [2]. В статье [5] описаны разработка и экспериментальные исследования приемника с прямым детектированием сигнала на основе  $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$ . Этот приемник может работать как с охлаждением до температуры жидкого азота, так и при комнатной температуре. Как материал для создания ТГц-приемника были использованы эпитаксиальные пленки  $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}/\text{CdZnTe}$  ( $x=0,22-0,23$ ) *p*-типа проводимости, выращенные методами жидкофазной и молекулярно-лучевой эпитаксии (на подложках из (013) GaAs с буферными слоями ZnTe и CdTe) с концентрацией носителей  $3,6-10^{15}-2-10^{16} \text{ см}^{-3}$  и толщиной эпитаксиального слоя 2–20 мкм.

Основным недостатком системы HgTe-CdTe является слабость химической связи Hg-Te, которая приводит к большому числу вакансий ртути и создает проблемы с обеспечением стабильного поведения поверхностей и границ раздела в структурах. Указанная проблема отчасти разрешима с помощью современной технологии, однако стоимость материала при этом многократно возрастает [5].

### ***Список литературы***

1. Войцеховский А.В. Неохлаждаемые микроболометры на основе поликристаллического SiGe для инфракрасного диапазона / А.В. Войцеховский, Н.А. Кульчицкий, А.А. Мельников [и др.] // Нано- и микросистемная техника. – 2013. – №2.
2. Демьяненко М.А. Разработка мозаичных неохлаждаемых микроболометрических приемников инфракрасного и терагерцового спектральных диапазонов форматом до 3072x576 и более / М.А. Демьяненко, Д.Г. Есаев, А.Г. Клименко // Успехи прикладной физики. – 2014. – Т. 2, №2.
3. Демьяненко М.А. Неохлаждаемое микроболометрическое фотоприемное устройство формата 320x240 на основе золь-гель VO<sub>x</sub> / М.А. Демьяненко, Б.И. Фомин, Л.Л. Васильева [и др.] // Прикладная физика. – 2010. – №4.

4. Замбург Е.Г. Электрофизические свойства пленок ZnO и VO<sub>x</sub>, полученных методом импульсного лазерного осаждения / Е.Г. Замбург, А.В. Михайличенко, В.В. Пташник // Известия Южного федерального университета. Серия: Технические науки. – 2011. – Т. 117, №4.
5. Сизов Ф.Ф. Многоэлементные приемники терагерцового излучения на CdHgTe / Ф.Ф. Сизов, М.В. Апатская, Ж.В. Гуменюк-Сычевская [и др.] // Прикладная физика. – 2011. – №2.
6. Якушев М.В. Гетероструктуры CdHgTe на подложках Si (310) большой площади для матричных ИК фотоприемников коротковолнового спектрального диапазона / М.В. Якушев, В.С. Варавин, В.Г. Ремесник [и др.] // Физика и техника полупроводников. – 2014. – Т. 48, №6.