

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМОВ ПРОВЕДЕНИЯ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ ИЗ РАСТВОРОВ ПЛЕНОК ГИБРИДНЫХ ПЕРОВСКИТОВ

Лушпа Н.В., Будник В.С.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, Минск, Беларусь

Научный руководитель – **Врублевский Игорь Альфонсович**
(к.т.н, доцент., БГУИР, г. Минск)

Аннотация: Исследованы режимы получения пленок гибридных перовскитов состава $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$. Показано, что при использовании растворного метода морфология кристаллов перовскитов, определяется составом раствора, типом растворителя, методом нанесения и условиями кристаллизации.

Ключевые слова: гибридные перовскиты, кристаллизация, морфология кристаллов, зерна кристаллов.

Введение

Одним из перспективных методов получения пленок гибридных перовскитов с кристаллической структурой является выращивание кристаллов путем нагрева раствора [1,2]. При использовании растворного метода морфология кристаллов перовскитов, определяется составом раствора, типом растворителя, методом нанесения и условиями кристаллизации [3]. Преимуществом такого метода является возможность получения пленки перовскита с кристаллической структурой в одну стадию. Анализ данных литературы показывает, что режимы проведения кристаллизации из раствора имеют важное значение для определения морфологии, фазового состава и фотоэлектрических свойств пленок перовскита. Поэтому актуальным направлением в области исследований гибридных перовскитов является поиск режимов обработки, которые позволяют получать сплошные пленки перовскитов с большими размерами зерен кристаллов и с высокой степенью кристалличности.

Результаты и обсуждение

Для осаждения на подложки пленки гибридного галогенидного перовскита состава $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$ использовался метод одноступенчатого центрифугирования 30% раствора перовскита в диметилформамиде. В случае растворного метода получения выбор растворителя для органической и неорганической компоненты определяет такие характеристики как морфологию, процесс кристаллизации, толщину и однородность перовскитных пленок. В качестве подложки использовались пластины из обычного силикатного стекла ($25,4 \times 76,2 \text{ мм}^2$), из которых вырезались образцы размерами $2,0 \times 2,0 \text{ мм}^2$. Стекланные подложки со слоем FTO размерами $2,0 \times 2,0 \text{ мм}^2$ промывались в воде с поверхностно-активным веществом. Для удаления жировых загрязнений стекла обрабатывали в нагретом до 60 С изопропиловом спирте, с последующей промывкой в дистиллированной воде и сушкой на воздухе при 70 С. Перед нанесением перовскитной пленки стекланные подложки дополнительно обрабатывали ацетоном, осушенным хлоридом кальция.

После предварительной обработки переходили к операции осаждения раствора перовскита на подложку. Для этого к раствору, содержащему метиламмоний иодид, добавляли 3-х кратное количество по массе порошка PbI_2 растворенного в диметилформамиде. Перед осаждением раствора стекла размещались на нагретой до 90 С столлик центрифуги и затем в центр стекла наносили каплю концентрированного раствора трийодидметиламмоний свинец в диметилформамиде. Для нанесения пленок использовалась центрифуга модели SPIN-1200T (MIDASSYSTEM, Корея). Нагрев и отжиг образцов проводили на лабораторной плитке модели ND-1A (Япония). В экспериментах в бокс с центрифугой подавался газ – азот и столлик центрифуги вращали со скоростью 600 оборотов в минуту в течение 1 мин в атмосфере азота.

Морфологию поверхности пленок трийодидметиламмоний свинец после

кристаллизации изучали в оптическом микроскопе «ПОЛАМ-Р-312» (АО ЛОМО) с видеокамерой при увеличении 500 крат. Процесс кристаллизации перовскитного материала состава $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$ сопровождался формированием зернистой структуры пленки с изменением цвета от желтого до темного серо-желтого.

На рис.1 показаны снимки морфологии перовскитных пленок после отжига при температуре 100 и 110 °С. Как видно из полученных результатов, процесс кристаллизации на подложке сопровождается ростом большого количества кристаллов. При кристаллизации с температурой отжига 110 °С наблюдается формирование кристаллов с равномерным распределением по всей поверхности пленки. Это указывает на равновесное протекание процессов кристаллизации в пленке, когда скорость роста кристаллов и скорости образования зародышей являются одинаковыми. Увеличение температуры отжига выше 130 °С приводит к нарушению такого равновесия и, в результате, скорость образования зародышей становится больше скорости их роста.

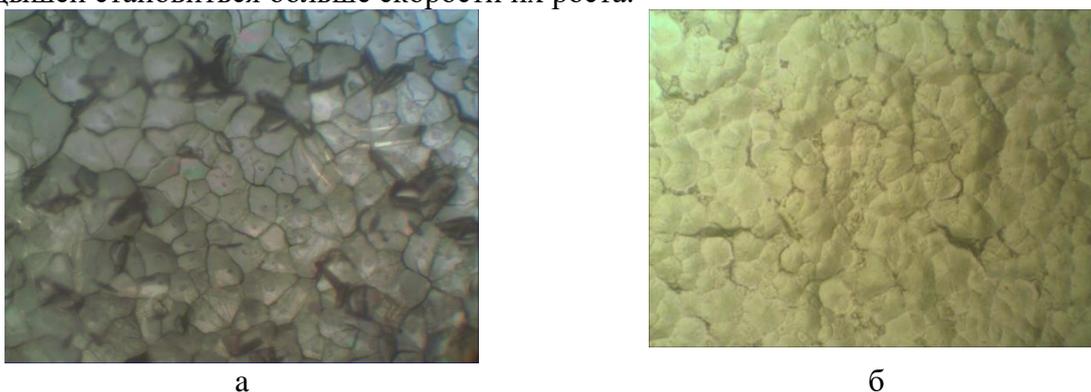


Рис. 1. Морфология перовскитных пленок состава $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$ после отжига
а – при 100 °С, б – при 110 °С

Протекание такого процесса будет вызывать образование большого числа зародышей и, как следствие, формирование мелких кристаллов. Проведенные исследования подтвердили, что с увеличением температуры отжига с 130 °С до 150 °С размер зерен значительно уменьшался и количество кристаллов увеличивалось. Следовательно, температура 110 °С, при которой в формируемой пленке скорость роста кристаллов и скорость образования зародышей уравниваются друг друга, является оптимальной для проведения кристаллизации раствора перовскита. Отжиг при этой температуре позволяет обеспечить формирование сплошной зернистой структуры пленки перовскита с наибольшим размером зерен и получить по всей поверхности пленки плотноупакованные кристаллы.

Заключение

Показано, что режимы проведения кристаллизации из раствора имеют важное значение для определения морфологии, фазового состава и фотоэлектрических свойств пленок перовскита. В первую очередь это относится к получению сплошных пленок перовскитов с большими размерами зерен кристаллов и с высокой степенью кристалличности. На основе полученных результатов сделан вывод, что в случае равенства скоростей роста кристаллов и скорости образования зародышей имеет место формирование кристаллов равномерно распределенных по всей поверхности пленки (кристаллизация с температурой отжига 110 °С). В случае нарушения такого равновесия, когда скорость образования зародышей выше, чем скорость роста кристаллов, происходит формирование мелких кристаллов (перекристаллизация с температурой отжига 130- 150 °С). Таким образом температура 110 °С, при которой в растворе перовскита скорости роста кристаллов и скорости образования зародышей равны, является оптимальной для кристаллизации раствора перовскита состава $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$.

Литература

1. Hamill J.C., Schwartz J., Loo Y.-L. Influence of Solvent Coordination on Hybrid Organic-Inorganic Perovskite Formation // ACS Energy Lett. 2018. Vol. 3. P. 92–97.
2. Baikie T. et al. Synthesis and crystal chemistry of the hybrid perovskite $(\text{CH}_3\text{NH}_3)\text{PbI}_3$ for

solidstate sensitised solar cell applications // J. Mater. Chem. A. 2013. Vol. 1, № 18. P. 5628–5641.

3. Jeon N.J. et al. Solvent engineering for high-performance inorganic-organic hybrid perovskite solar cells // Nat. Mater. 2014. Vol. 13, № 9. P. 897–903.

ДВУХДИАПАЗОННАЯ АНТЕННА "ВОЛНОВОЙ КАНАЛ" (144 / 430 МГц)

Мазуренко А. С. (студент группы СУ-11)

Гомельский государственный технический университет имени П.О. Сухого, г. Гомель, Республика Беларусь

Научный руководитель – **Запольский Андрей Евгеньевич**

(преподаватель - стажёр, УО «Гомельский государственный технический университет имени П.О. Сухого, г. Гомель, Республика Беларусь»)

Аннотация: В данной работе описывается двухдиапазонная антенна "Волновой канал", предназначенная для работы в диапазонах 144 МГц и 430 МГц. Основными особенностями антенны являются: хорошая направленность и усиление, простота и надежность конструкции, двойной диапазон. Кроме этого, в работе приводятся подробные чертежи и технические характеристики антенны, принцип её работы. Данная информация будет полезна как для практикующих радиолюбителей, так и для специалистов, занимающихся разработкой антенной техники.

Ключевые слова: двухдиапазонная антенна, Волновой канал, антенна Яги – Уда, антенна Яги, радиосвязь, вибратор, радиосигнал, бегущая волна

Введение

Двухдиапазонные антенны, также известные как "Волновой канал" или антенны «Яги – Уда», или антенны «Яги», представляют из себя устройства, спроектированные для работы на частотных диапазонах: 144 МГц (2-метровый радиолюбительский диапазон) и 430 МГц (радиолюбительский диапазон 70 см). Эти антенны обладают резонансными свойствами, позволяющими эффективно передавать и принимать радиосигналы в указанных диапазонах.

Интересно, что антенна, работающая в узкой полосе частот 2-метрового диапазона (около 145 МГц), может быть настроена так, чтобы перекрывать весь диапазон 70 см (390 – 450 МГц). Это позволяет радиолюбителям использовать одну антенну для обоих диапазонов, что удобно и экономично. В дополнение к этому, двухдиапазонные антенны обычно обладают хорошими характеристиками усиления и коэффициентом шума, что делает их привлекательным выбором для радиолюбителей, работающих на разных частотах [1].

Данный тип антенн относится к классу направленных антенн бегущей волны. Была изобретена в 1926 году в Японии, после получила широкое распространение в годы Второй мировой войны в радарх противовоздушной обороны [2].

Результаты и обсуждение

Для проектирования и изготовления антенны (смотри рисунок 1) были выбран алюминиевый профиль квадратного и круглого сечений, так как данные материалы обладают легкостью и широкой доступностью на рынке. Минимальная требуемая длина составляет 904 миллиметра. Для крепления вибратора, директоров и рефлекторов были использованы детали, спроектированные и созданные с помощью аддитивных технологий.

В качестве провода для подключения был использован стандартный коаксиальный кабель с удельным сопротивлением 75 Ом*м. Кабель называется коаксиальным из-за наличия экрана, который служит защитным барьером от внешних электромагнитных помех и дополняет медную жилу и изоляцию.

Антенна включает три основных компонента – активный вибратор, директор и рефлектор. Для подавления диаграммы направленности в нерабочем направлении и предотвращения потери мощности в устройстве используются два рефлектора для каждого из диапазонов, размещенные в начале антенны.

Директоры, размещенные после рефлекторов, также играют важную роль в