

**ИМПРИНТИНГ ДЛЯ УСИЛЕНИЯ ФОТОЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ ПЛЁНОК ИЗ  
НАНОПЛАСТИНОК CdSe/CdZnS**

Азизов Р.Р.

**Научный руководитель – доктор физ.-мат. наук, профессор Макаров С.В.,  
(Университет ИТМО)**

По сравнению с традиционными полупроводниковыми квантовыми точками, порог усиленного спонтанного излучения для пленок на основе нанопластинок CdSe/CdZnS наблюдается при более низких значениях. Нарушение симметрии в двумерных нанопластинках приводит к сохранению углового момента и снижает влияние Оже-рекомбинации. Модификация поверхности осуществлялась штампованием с использованием плоских штампов. Успешность модификации поверхности была доказана методами атомно-силовой микроскопии (АСМ). Результаты оптических измерений методом переменной длины полосы накачки подтвердили усиление фотолюминесценции и снижение порогов усиленной спонтанной фотолюминесценции.

**Введение.** Квазидвумерная структура обуславливает сниженные скорости Оже-рекомбинации, а делокализация носителей заряда в плоскости нанопластинок CdSe/CdZnS (НПЛ) обеспечивает сосуществование нескольких экситонов и снижает вероятность экситон-экситонной аннигиляции [1]. Применение метода штампования к тонким плёнкам НПЛ позволит улучшить люминесцентные свойства, а также качество поверхности. Сочетание уникальных характеристик и новых подходов к модификации слоёв НПЛ делает их подходящим материалом для светодиодных приложений из-за высокого оптического усиления [2,3].

**Основная часть.** Для создания тонких плёнок НПЛ были применены методы центрифугирования (СК) и ориентированной самоорганизации (СО). Метод СК универсален и позволяет получать пленки различной толщины. Для дальнейшего исследования влияния процесса штамповки на фотолюминесцентные (ФЛ) свойства, методом СК были созданы образцы со средней толщиной 70 нм из раствора с концентрацией 25.6 мг/мл (СК1) и 140 нм из раствора с концентрацией 128.5 мг/мл (СК2) на стеклянной подложке при скорости 1000 об/мин в течении 1 минуты, нанесением 60 мкл. Метод СО, с другой стороны, позволяет создавать пленки монослой за монослоем с высокой степенью контроля толщины [4]. Однако в методе СО по мере добавления очередного монослоя, деформации и неоднородности в нижележащих слоях накапливаются и вносят свой вклад в величину конечной неоднородности. Данный факт делает метод СО значительно более трудоемким по сравнению с методом СК. Подобным методом были созданы два образца, состоящие из 6 монослоев НПЛ CdSe/CdZnS со средней толщиной пленки 120 нм на стеклянной подложке. В качестве штампа были использованы стеклянные подложки. Размер штампов, меньший чем образцов, позволил на следующем этапе оценить разницу в шероховатости и толщине плёнки НПЛ. К образцам СО были приложены 500 и 800 кг в течение 5 (СО1) и 10 (СО2) минут соответственно. Подобные режимы позволили оценить влияние процесса штампования на морфологические характеристики поверхности. АСМ исследования образца СО1 показали снижение средней амплитуды шероховатости от 30 нм до 15 нм и структуру поверхности островкового типа со средней толщиной 70 нм. Образец СО2 демонстрировал снижение амплитуды шероховатости до 3 нм с относительно равномерной морфологией поверхности и средней толщиной 65 нм. Режим штампования образцов СК состоял в приложении 500 кг на протяжении 5 минут. Несмотря на малое улучшение качества поверхности - от  $\pm 4$  до  $\pm 3$  нм и снижения толщины в среднем на 10 нм (СК1) и 30 нм (СК2), было детектировано значительное улучшение характеристик светимости. Образец СК2 после процесса штампования демонстрировал эффект усиленной спонтанной люминесценции при пороговой мощности 65 мкВт, который

отсутствовал первоначально. Образец СК1 был исследован методом переменной длины полосы накачки. При накачке в  $600 \text{ мкДж/см}^2$  модовое усиление возросло в 12,7 раза с  $22 \text{ см}^{-1}$  до  $280 \text{ см}^{-1}$  для исходной и штампованной области, соответственно.

**Выводы.** Работа описывает применение методов штампования к тонким плёнкам на основе нанопластинок CdSe/CdZnS. Использование плоского штампа при модификации поверхности привело к уменьшению толщины слоя, а в образцах со значительной неоднородностью также к снижению шероховатости поверхности. Результаты измерений ФЛ методом переменной длины полосы накачки подтвердили значительное снижение порогов усиленного спонтанного излучения и увеличение усиления. Предложенный метод модификации поверхности может быть применен в качестве дополнительного этапа при конструировании светодиодов с торцевым выводом излучения.

**Список использованных источников:**

1. Grim, J. Q., Christodoulou, S., Di Stasio, F., Krahne, R., Cingolani, R., Manna, L., and Moreels, I., "Continuous-wave biexciton lasing at room temperature using solution-processed quantum wells," *Nature nanotechnology*, 9(11), 891-895 (2014)
2. Sharma, M., Delikanli, S., and Demir, H. V., "Two-dimensional CdSe-based nanoplatelets: their heterostructures, doping, photophysical properties, and applications," *Proceedings of the IEEE*, 108(5), 655-675 (2019)
3. Zhang, J., Sun, Y., Ye, S., Song, J., and Qu, J., "Heterostructures in two-dimensional CdSe nanoplatelets: synthesis, optical properties, and applications," *Chemistry of Materials*, 32(22), 9490-9507 (2020).
4. Erdem, O., Foroutan, S., Gheshlaghi, N., Guzelturk, B., Altintas, Y., and Demir, H. V., "Thickness-tunable self-assembled colloidal nanoplatelet films enable ultrathin optical gain media," *Nano Letters*, 20(9), 6459-6465 (2020).