

ЛАЗЕРНО-ИНДУЦИРОВАННЫЕ ЗОЛОТО-КРЕМНИЕВЫЕ НАНОСТРУКТУРЫ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ФОТОЛЮМИНЕСЦЕНЦИЕЙ ИОНОВ ЭРБИЯ

Важенин И. И.¹

Научный руководитель – к.ф.- м.н. Ярошенко В. В.¹

¹Университет ИТМО

ivan.vazhenin@metalab.ifmo.ru

Введение

Эрбий один из немногих материалов, излучающих вблизи третьего окна прозрачности оптических волноводов на основе диоксида кремния SiO₂ (1550 нм) [1]. Альтернативным материалом, люминесценция которого расположена около указанного окна прозрачности, является тулий Tm (~1450 нм), но он не получил такого широкого коммерческого применения, так как находится дальше от диапазона минимальных потерь [2]. Таким образом, именно ионы эрбия, чья фотолюминесценция приходится на 1540 нм, стали наиболее широко используемыми в системах волоконно-оптической связи. На их основе созданы эрбиевые волоконные усилители (EDFA), получившие массовое применение в области телекоммуникаций [3].

Помимо сферы телекоммуникаций эрбий активно внедряется в сферу интегральной фотоники. Благодаря оптическим свойствам его используют для создания наноразмерных источников излучения, ячейки памяти, а также резонансные структуры необходимые для реализации квантовых вычислений [4].

Однако существует проблема низкой интенсивности фотолюминесценции ионов эрбия Er³⁺, встроенных в матрицу кремния. Для её решения исследователи используют методы литографии для создания резонансных структур или добавляют сенсбилизаторы, повышающие интенсивность свечения [5]. Поскольку первый подход сложный и дорогостоящий в реализации, в этой работе рассматривается возможность использования золота. Наноструктуры, созданные на основе золота и кремния, могут обладать рядом свойств, таких как плазмонный резонанс, генерация горячих электронов и локализация электромагнитного поля. Эти свойства могут способствовать улучшению поглощения лазера накачки и, как следствие, повышению интенсивности фотолюминесценции ионов эрбия.

Основная часть

В ходе работы были использованы готовые плёнки на кварцевой подложке с золотым покрытием Au/Si/Er/Si и без Si/Er/Si. Образцы были получены методом вакуумного осаждения и магнетронного напыления. Исследование оптических свойств эрбия в исходном состоянии было невозможно поскольку в аморфном состоянии, вне кристаллической матрицы, ионы не фотолюминесцируют.

В связи с этим исследование началось с определения пороговой мощности лазерно-индуцированного нагрева, при которой происходит видимое изменение плёнок. Отжиг встраивает ионы эрбия в матрицу кремния и формирует запечённую область, в которой могут формироваться кристаллические структуры. Нагрев проводился от определённого порогового значения до полного разрушения плёнок, когда в месте нагрева оставалась только стеклянная подложка. Таким образом были получены группы структур с нагревом в течение 5 и 10 секунд.

После проведения лазерно-индуцированного нагрева обоих образцов (с золотом и без) была измерена фотолюминесценция в местах, подвергнутых отжигу лазером с длиной волны 525 нм и мощностью, равной пороговой. В ходе измерений было определено, при каком уровне отжига достигалась максимальная интенсивность

фотолюминесценции ионов эрбия. Если взять данные интенсивности излучения при одинаковой мощности нагрева и времени, то у образца с золотом интенсивность почти всегда будет значительно выше.

Следующим этапом исследования стало изучение морфологических характеристик полученных структур. Для этого были проведены измерения с использованием электронного сканирующего микроскопа (СЭМ) и сканирующего зондового микроскопа.

В настоящее время проводятся исследования с использованием метода время-разрешённой спектроскопии. Поскольку данные, полученные на основе анализа интенсивности спектров фотолюминесценции, не позволяют полностью описать процессы, происходящие в исследуемых структурах. Исследование времени жизни возбуждённых электронов даёт информацию о скорости процесса релаксации возбуждённых электронов, который приводит к люминесценции ионов эрбия Er^{3+} . Предварительные результаты показывают, что образцы, содержащие золото, имеют на сотни наносекунд более короткое время жизни по сравнению с образцами без золота. Это указывает на то, что переходные процессы в структурах с золотом протекают быстрее, что способствует увеличению интенсивности фотолюминесценции эрбия.

Выводы

Эрбий был детально изучен в конце 20 века и зарекомендовал себя, о чем говорит его массовое применения в телекоммуникационных технологиях, лазерных системах и пр. Однако полный потенциал этого материала пока не раскрыт. Сегодня на рынок выходят новые, перспективные сферы технологий, как интегральная фотоника, квантовые вычисления и другие, в которых эрбий может себя проявить. Это демонстрирует в том числе рост публикаций за последние годы в которых он активно фигурирует. Данная исследовательская работа демонстрирует перспективы использования золота для усиления фотолюминесценции ионов эрбия.

Литература

1. Polman A. Erbium as a probe of everything? // *Physica B Condens. Matter*. 2001. Т. 300, № 1. С. 78–90.
2. Paschotta R. Thulium-doped Laser Gain Media. RP Photonics AG, 2023.
3. Miniscalco W. J. Erbium-doped glasses for fiber amplifiers at 1500 nm // *Journal of Lightwave Technology*. 1991. Т. 9, № 2. С. 234–250.
4. Zhang Y. Direct tensor processing with coherent light // *Nat. Photonics*. 2026. Т. 20, № 1. С. 102–108.
5. Yu Z. Er^{3+} - Tm^{3+} Co-Doped Hybridized Gadolinium Aluminosilicate Glass Fiber for Broadband Optical Amplification // *Adv. Mater. Technol*. 2025. Т. 10, № 9. С. 2401649.

Важенин И.И. (автор)

(подпись)

к.ф.- м.н. Ярошенко В.В. (руководитель)

(подпись)