

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ СВЕТОИЗЛУЧАЮЩИХ ДИОДОВ

Абдуллаев Жамолиддин Солижонович

Сатволдиев Ином Абдусалимович

Кадиров Хатамжон Анварович

Ферганский филиал ТУИТ

**Аннотация:** В работе приведены результаты исследования процесса деградации светодиодов (СД) на основе  $Al_xGa_{1-x}As:Te(x > 0,34) - Al_{0,34}Ga_{0,66}As:Zn-GaAs:Zn$

**Ключевые слова:** светоизлучающие диоды, жидкостнофазная эпитакция, фотолюминесценция, вольт-амперная характеристика, вольт-фарадная характеристика, электролюминесценция, глубокие центры.

В данной исследовании приведены результаты исследования процесса деградации промышленных светодиодов (СД) на основе  $Al_xGa_{1-x}As:Te(x > 0,34) - Al_{0,34}Ga_{0,66}As:Zn-GaAs:Zn$  гетероструктур. Эпитаксиальные слои последовательно наращивались на подложки  $p^+ - GaAs$ . Часть СД с мезаструктурой имела защитное покрытие из  $Si_3N_4$ .

Эти светодиоды получены методом жидкостнофазной эпитаксии.

При исследовании деградационного процесса измерялись все основные электрические характеристики СД. Спектр электролюминесценции (ЭЛ) исследованных СД содержал две полосы свечения: красную (К)  $h\nu_m = 1,82$  эВ с полушириной 0,06 эВ и инфракрасную (ИК)  $h\nu_m = 1,39-1,4$  эВ с полушириной 0,07 эВ. Исследования показали, что если в СД ИК полоса свечения имела максимум  $h\nu_m = 1,39$  эВ, то при деградации спектральное положение обеих полос не изменялось. Если же максимум ИК – полосы соответствовал 1,4 эВ, то в процессе деградации наряду с уменьшением величины обеих полос наблюдалось смещение ИК полосы свечения в длинноволновую сторону. При этом относительное изменение К – полосы было слабее, чем относительное изменение ИК – полосы.

Наблюдалось изменение интенсивности и а так же смещение ИК – полосы в длинноволновую сторону, которые происходит одновременно с ростом избыточного термотуннельного тока на обратной ветви вольт – амперной характеристики (ВАХ). Рост избыточного тока при наработке характеризует увеличение концентрации дефектов в области пространственного заряда (ОПЗ)  $p - n$  перехода, в то же время изменение интенсивности ИК полосы свидетельствует об увеличении концентрации дефектов на гетерогранице  $GaAs-AlGaAs$ .

В процессе исследования обнаружено, что чем значительнее увеличивался избыточный ток, тем сильнее снижалась интенсивность ИК полосы, что позволяет считать эти процессы связанными. Это приводит к тому, что увеличение избыточного тока и снижение интенсивности ИК обусловлены одной причиной, а именно,



релаксацией напряжений в гетеросистеме, сопровождающейся введением структурных дефектов в границе раздела  $Al_{0,34}Ga_{0,66}As - GaAs$  и  $Al_{0,34}Ga_{0,66}As - Al_xGa_{1-x}As$  ( $x > 0,34$ ). Известно, что увеличение в  $p - n$  - переходе плотности структурных дефектов приводит к росту избыточных токов на обратной ветви ВАХ. [1]

Для исследование изменений параметров глубоких центров (ГЦ) в процессе деградации светодиодов проводилось процесс деградация при пропускании через образцов прямого тока с плотностью  $I_g = 16 \text{ A/cm}^2$  при температуре  $50^\circ\text{C}$  в течение 3000 часов. В определенных этапах деградации контролировалась интегральная эффективность свечения, спектры электролюминесценции, вольт - амперные и вольт - фарадные характеристики (ВФХ).

Кроме того, также измерялись параметры глубоких центров в активной области СД. Измерения проводилось методом релаксационной емкостной спектроскопии глубоких уровней. известном в литературе как метод DLTS. В спектре DLTS обнаружено восемь пиков, соответствующих ловушкам для основных носителей (ОН) – дырок, и один пик связанный с ловушками для неосновных носителей (НН) – электронов, в активном  $p -$  слое СД. По температурным зависимостям положения максимумов указанных пиков от постоянной времени перезарядки глубоких центров было определено их энергетическое положение и сечения захвата носителей. Концентрация ГЦ оценивалась по величине сигнала DLTS.

Для того, чтобы судить о пространственной локализации центров, измерения их концентрации проводились при различных обратных смещениях на диоде, соответствующих различной ширине, области пространственного заряда (ОПЗ).

Для анализа кинетики деградации исследованных СД, процесс деградации условно разделяется на периоды (интервалы А – Б, Б – С и С – Д), соответствующие характерным изменения параметров СД при наработке.

1. В период А – Б эффективность свечения основной  $K -$  полосы электролюминесценции ( $W_k = k\eta_o I_n \eta_k$ ) практически не изменяется. При этом на ВАХ наблюдается увеличение прямого и обратного туннельно – термических и терморекombинационного токов. Одновременно растет ток на участке, где доминировал термоэмиссионная компонента, что свидетельствует об увеличении доли рекомбинационного тока и снижении коэффициента инжекции.

В тех светоизлучающих диодах, у которых на участке А – Б рекомбинационный ток не возрастал – величина  $W_k$  оставалась постоянной и в спектре DLTS наблюдалось увеличение концентрации только ловушек  $H_3$  и  $H_4$  и снижение число ловушек  $H_1$  и  $E$ . В тех СД, у которых на участке А – Б рекомбинационный ток значительно возрастал и падала величина  $W_k$ , одновременно с ростом числа ловушек  $H_3$  и  $H_4$  в спектре DLTS увеличилась концентрация центров  $H_7$  и  $H_8$ .

Известно, что процесс рекомбинационно – стимулированного размножения структурных дефектов в материале  $A^3B^5$  сопровождается рождением вакансий. Авторы работ [2], с дефектом  $V_{Ga}$  в  $Al_{0,32}Ga_{0,68}As$  связывают отрицательно заряженную



дырочную ловушку с энергетической глубиной  $0,64 \pm 0,01$  эВ. Это значение удовлетворительно согласуется с энергией ионизации обнаруженной нами дырочной ловушки  $H_7$ .

2. В период Б – С деградации  $W_k$  обусловлена снижением объемной квантовой эффективности свечения  $\eta_k$  при постоянной величине токов на ВАХ. В спектре DLTS сигнала в это время происходит уменьшение числа ловушек  $H_3$ ,  $H_4$  и рост концентрации центров Е,  $H_5$  и  $H_6$ .

Участок Б – С процесса деградации СД мы связываем со снижением внутреннего квантового выхода К – полосы свечения в активном р – области диода.

3. Наконец, на участке С – Д наработки скорость снижения объемной эффективности свечения уменьшается. В то же время на прямой и обратной ветвях ВАХ вновь начинают расти туннельно – термический и рекомбинационный токи, а в спектре DLTS сигнала увеличивается концентрация центров  $H_3$ ,  $H_7$ ,  $H_8$  и снижается число электронных ловушек Е. В период наработки С – Д изменение всех характеристик аналогично изменениям, происходящим на участке А – Б деградации СД.

Описанная кинетика снижения эффективности свечения СД при деградации становится понятной, если предположить, что в период Б – Д деградации СД обусловлена диффузией подвижных примесей или дефектов из удаленных от р – n перехода областей гетероструктуры, а именно, высоколегированной Ga. Легкоподвижными (донорными) дефектами в GaAs являются, как известно, междоузельные атомы Zn. Диффузия последних через активную область, вероятно, приводит к росту концентрации сложных примесных комплексов – центров рекомбинации  $H_5$  и  $H_6$ , возможно, образующихся из ловушек  $H_3$  и  $H_4$ .

Происходящее одновременно некоторое увеличение числа электронных ловушек Е близких по параметрам к известным донорным центрам в  $Al_xGa_{1-x}As$  свидетельствует в пользу сделанного предположения о диффузии из подложки при наработке доноров. В свою очередь возрастание в р – n переходе концентрации доноров вновь приводит к размножению там структурных дефектов, сопровождающемся ростом туннельно – термических и рекомбинационных токов (участок С – Д) и одновременно увеличением концентрации ловушек  $H_3$ ,  $H_7$  и  $H_8$ .

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Исобаев, М. Д., Файзилов, И. У., & Сабиров, С. С. (1990). Конформация изомерных Z, E ениновых триолов и диоксиальдегидов. *Теоретич. и эксперим. химия*, (6), 681.

2. Сабиров, С. С., Файзилов, И. У., & Исобаев, М. Д. (1986). Синтез первично-дитретичных ениновых триолов, их простых моноэфиров и их гидрирование. *ЖорХ*, 22(5), 987.



3. Сабилов, С. С. (1974). Исследование в области простых эфиров и аминокэфиров, спиртов, гликолей и глицеринов ацетиленового и диацетиленового ряда/Дисс. на соиск. уч. ст. докт. хим. наук. *Душанбе.-1974.-468с.*
4. Сабилов, С. С., Хайдаров, К. Х., & Гулин, А. В. (1986). Синтез и нейтропная активность серосодержащих винилацетиленовых карбинолов. *Хим. фарм. журн*, 20(2), 154.
5. Сабилов, С. С., Файзилов, И. У., Хайдаров, К. Х., & Алиджонов, У. (1984). 6, 7-диметил-2-ундекен-4-ин-1, 6, 7-триол, обладающий желчегонной активностью.
6. Исмаилов, Д. И., Гулин, А. В., & Сабилов, С. С. (1984). Синтез 1, 3-диоксаланов и алкилтиооксимов и их фармакологические свойства. *Докл. АН Таджикской ССР*, 27(7), 386.
7. Сабилов, С. С. (1969). *Синтез трехатомных третичных спиртов диацетиленового ряда* (Vol. 12, No. 11, pp. 19-21). ВИ Никитин//Докл. АН Тадж. ССР.
8. Юнусов, М. С., Ахмадалиев, А., & Сабилов, С. С. (1995). Процессы образования и отжига радиационных дефектов в р-SiС Р, Рт. *Физика и техника полупроводников*, 29(4), 665-668.
9. Сабилов, С. С., & Никитина, Л. Л. (2022, May). ОСОБЕННОСТИ БЕСКОНТАКТНЫХ СПОСОБОВ ИЗМЕРЕНИЯ СТОПЫ. In *Новые технологии и материалы легкой промышленности: VIII Международная научно-практическая конференция* (p. 138). Litres.
10. Shadimetov, K., Hayotov, A., & Bozarov, B. (2022). Optimal quadrature formulas for oscillatory integrals in the Sobolev space. *Journal of Inequalities and Applications*, 2022(1), 103.
11. Hayotov, A. R., & Bozarov, B. I. (2021). Optimal quadrature formula with cosine.
12. Bozarov, B., & Maxmudjonov, A. (2023). UCH O 'LCHOVLI SFERADA ANIQLANGAN FUNKSIYALAR UCHUN OPTIMAL KUBATUR FORMULALAR. *Research and implementation*.
13. Bozarov B.I., Shaev A.K. Norm of the error functional for the optimal quadrature formula with cosine weight in the Sobolev space. *Problems of Computational and Applied Mathematics*. 2023, Vol 50, No:3 (1), pp.
14. BI, B. (2021). An optimal quadrature formula in the Sobolev space. *Uzbek Mathematical Journal*, 65(3).
15. Botirova, N., & Alimjanova, M. (2022). TALABALARNING OQUV-BILISH FAOLIYATLARINI TASHKIL ETISH. *Евразийский журнал социальных наук, философии и культуры*, 2(12), 65-72.
16. Botirova, N. (2023). DEVELOPMENT OF EDUCATIONAL-COGNITIVE COMPETENCE ON THE BASIS OF PERSONALITY-ORIENTED EDUCATION OF FUTURE PRIMARY CLASS TEACHERS. *Modern Science and Research*, 2(6), 563-567.
17. Alimjanova, M., Botirova, N., & Ergasheva, M. (2022). Secrets of experienced teachers on working with "difficult children". *Asian Journal of Research in Social Sciences and Humanities*, 12(4), 451-457.



18. Djurabayevna, B. N. (2023). BO'LAJAK O'QITUVCHILARNI INDIVIDUAL TRAEKTORIYASINI PEDAGOGIK LOYIHALASHDA SHAXSIY RIVOJLANTIRUVCHI YONDASHUVNING O'RNI. *SCIENCE AND SCIENTIFIC RESEARCH IN THE MODERN WORLD*, 1(6).

19. Djurabayevna, B. N. (2023). Ways of Implementing the Design of the Individual Education Trajectory of the Future Primary Class Teachers. *Journal of Pedagogical Inventions and Practices*, 21, 47-52.

20. Толипов, Н. (2023, October). ИЗУЧЕНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ КОМПЛЕКСНЫХ ЧИСЕЛ В ТЕХНИКЕ И ТЕХНОЛОГИЯХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ MAPLE И MATHCAD. In *Conference on Digital Innovation: "Modern Problems and Solutions"*.

21. Толипов, Н. (2023, October). ПЕДАГОГИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ И ТЕХНОЛОГИИ В ОБУЧЕНИИ МАТЕМАТИКЕ. In *Conference on Digital Innovation: "Modern Problems and Solutions"*.

22. Толипов, Н. (2023, October). НАПРАВЛЕНИЯ, КОТОРЫЕ ИГРАЮТ КЛЮЧЕВУЮ РОЛЬ В ПОВЫШЕНИИ РЕЙТИНГА ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ. In *Conference on Digital Innovation: "Modern Problems and Solutions"*.

23. Isaqovich, T. N., & Muxammadjon o'g'li, N. R. (2023). TO 'G 'RI TO 'RTBURCHAKDA LAPLAS TENGLAMASI UCHUN SHARTLI KORREKT QO 'YILGAN MASALA. *IMRAS*, 6(6), 90-94.

24. Maniyozov, O., Shokirov, A., & Islomov, M. (2023). Matritsalarini arxitektura va dizayn soxasida tatbiqi. *Research and implementation*.

25. Маниёзов, О. А. (2023). ИСПОЛЬЗУЙТЕ АЛГОРИТМ ФУРЬЕ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЛИНЕЙНОЙ ЗАДАЧИ ДЛЯ НЕЛИНЕЙНОГО УРАВНЕНИЯ ГИПЕРБОЛИЧЕСКОГО ТИПА. *Новости образования: исследование в XXI веке*, 2(14), 229-233.

26. Насриддинов, О. (2023, October). ИССЛЕДОВАНИЕ АНАЛИТИЧЕСКИХ И ЧИСЛЕННЫХ РЕШЕНИЙ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ В СИМВОЛЬНОМ ПАКЕТЕ MAPLE. In *Conference on Digital Innovation: "Modern Problems and Solutions"*.

27. Shadimetov, K. M., & Daliyev, B. S. (2020). Optimal quadrature forrrrmlas for approximate solution of the Abel integral equation. *Uzbek Mathematical Journal*, (2).

28. RAKHIMOV, N., ZHMUD, V., TRUSHIN, V., REVA, I., & SATVOLDIEV, I. (2015). Optoelectronic Measurement and Control of Technological Parameters of Crude Oil and Petroleum Products.

29. Абдуллаев, Ж. С., Гусев, М. Ю., Зюганов, А. Н., & Торчинская, Т. В. (1989). Параметры глубоких центров в светодиодах AlGaAs, оценённые методами ёмкостной и инжекционной спектроскопии. *Укр. физ. Журнал*, 34(8), 1220.

30. Саидов, М. (2023, October). СМЕШАННАЯ ЗАДАЧА ДЛЯ НЕОДНОРОДНОГО УРАВНЕНИЯ ЧЕТВЕРТОГО ПОРЯДКА. In *Conference on Digital Innovation: "Modern Problems and Solutions"*.