

ПОЛЯРИЗОВАННАЯ ЭЛЕКТРОЛЮМИНЕСЦЕНЦИЯ В НИТРИДЕ ГАЛЛИЯ

М.Д.Шагалов, А.Г.Дрижук

Обнаружена эффективная поляризованная электролюминесценция легированного цинком нитрида галлия в видимом диапазоне длин волн. На основе ряда особенностей свойств поляризованного излучения предполагается наличие неизвестных ранее механизмов излучательных процессов.

В видимом диапазоне длин волн поляризованная электролюминесценция (ЭЛ) наблюдается впервые. Имеются сообщения [1, 2] о создании источника инфракрасного поляризованного излучения на основе арсенида галлия. При диагональном туннелировании не основных носителей заряда в области $p-n$ -перехода степень поляризации излучения теоретически может достигать $\sim 60\%$.

Для широкозонных полупроводников группы A_3B_5 и A_2B_6 [3, 4] поляризованная фотолюминесценция (ФЛ) связана как правило с наличием излучательных центров дипольного типа. Однако поляризованная ЭЛ, имеющая большее практическое значение, не наблюдается в этих соединениях из-за особенностей механизмов излучательных процессов и трудностей получения светоизлучающих структур с заданными электрическими свойствами.

На основе $n-i$ -структур из GaN, в которых изолирующий слой GaN легирован цинком в процессе выращивания, созданы источники света, излучающие во всем видимом диапазоне длин волн. Возможность получения различного цвета излучения в GaN:Zn объясняется особенностями встраивания цинка в решетку GaN при изменении условий выращивания и его склонностью к комплексообразованию [5, 6]. Хотя имеется значительное число работ посвященных исследованию ЭЛ и ФЛ в GaN, механизмы излучательных процессов с участием примесных состояний полностью еще не ясны.

В данной работе проведен ряд исследований электрофизических свойств структур из GaN, электролюминесценция которых имеет максимум интенсивности излучения при $\sim 2,55$ эВ. Отличительным свойством ЭЛ является то, что голубое излучение поляризовано до $\sim 60\%$. Как и для большинства широкозонных полупроводников, излучательные процессы с участием центра дипольного типа отличаются высокой эффективностью. Внешняя квантовая эффективность для светодиода из GaN с поляризованным излучением на $1 \div 2$ порядка превышает эффективность любых других нитридгаллиевых светодиодов и составляет величину $0,2 \div 0,3\%$. Однако существуют ряд особенностей люминесцентных свойств GaN, которые указывают на пока еще неизвестные механизмы излучательных процессов с участием диполя и дают некоторую информацию о структуре цинкового комплекса.

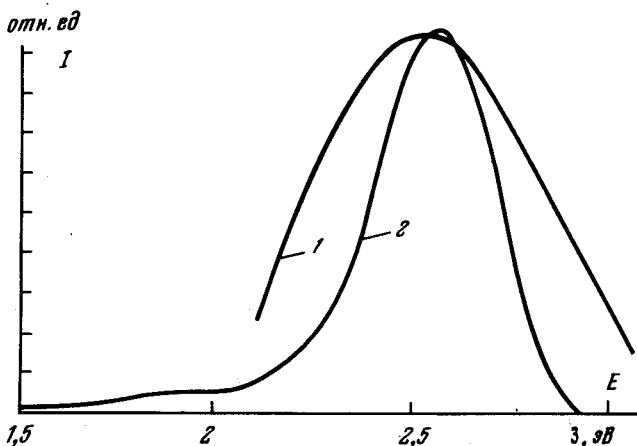


Рис. 1. Спектры фото- [1] и электролюминесценции [2] нитрида галлия легированного цинком

На рис. 1 представлены спектры ФЛ и ЭЛ при одинаковом уровне возбуждения GaN:Zn. Полуширина полос излучения при двух способах

возбуждения может различаться более чем в два раза. К тому же голубое излучение при ФЛ практически неполяризовано ($3 \div 4\%$ поляризации излучения обусловлено, вероятно, неоднородностью кристалла). Микроструктура излучения представляет собой скопление излучающих участков размером $1 \div 3$ мкм на расстоянии $5 \div 10$ мкм. Измерения степени поляризации (P) излучения отдельных областей диаметром ~ 5 мкм показывают, что максимальное значение P может достигать величины $\sim 80\%$.

Увеличение эффективности ЭЛ голубых светодиодов при любом уровне возбуждения возможно двумя способами. Нагрев от комнатной температуры до $330 \div 370\text{K}$ приводит к увеличению эффективности излучения в два раза, а охлаждение до 77K , наряду с уменьшением интенсивности излучения в $5 \div 8$ раз, приводит к уширению спектра в $\sim 1,8$ раза. Для ФЛ структур в этом диапазоне температур, как и для большинства соединений A_3B_5 , характерно температурное тушение интенсивности излучения.

Изменение интенсивности ЭЛ происходит при помещении кристалла GaN в магнитное поле. При определенной ориентации кристалла увеличение интенсивности излучения в ~ 2 раза наблюдается в магнитных полях ~ 10 кЭ.

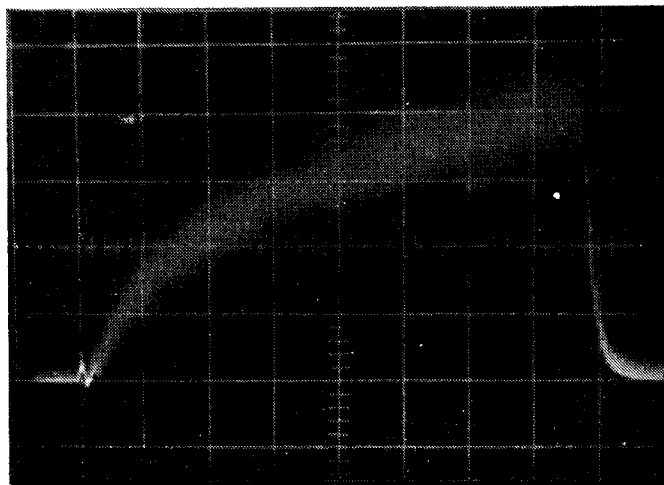


Рис. 2. Кинетика нарастания и спада интенсивности ЭЛ при импульсном возбуждении (1 мксек/дел)

Возникновение излучения для голубых светодиодов происходит уже при сравнительно малых напряженностях электрического поля $\sim 4 \cdot 10^4$ В/см и исключительно при обратном смещении (положительный потенциал на i -слое GaN). Излучение при прямом смещении возникает только в предпробойной области. Для остальных желтых, зеленых и синих светодиодов наиболее эффективно излучение генерируется при прямом смещении на структуре и напряженности электрического поля $\sim 5 \cdot 10^5$ В/см.

Последняя особенность излучения голубых светодиодов обнаружена при исследовании кинетики нарастания и спада интенсивности излучения. Вид кривой изменения интенсивности свечения при приложении прямоугольного импульса напряжения к светодиоду существенно несимметричен (рис. 2). Постоянная времени (τ) нарастания интенсивности излучения составляет величину $5 \div 10$ мксек, что в $50 \div 100$ раз больше значений τ на спаде интенсивности. Столь высокое значение постоянной времени никак не увязывается с возможностью модулирования излучения постоянным по величине гармоническим сигналом вплоть до частот 50 МГц без заметного уменьшения интенсивности излучения.

Исходя из перечисленных особенностей люминесцентных свойств GaN : Zn, можно предположить, что за поляризованное голубое излучение ответственны цинковые комплексы дипольного типа. Вероятность переходов внутри комплекса существенно увеличивается при приложении электрического поля определенного направления и величины. Процесс ориентирования диполя может происходить и в магнитном поле.

Вологодский
политехнический институт

Поступила в редакцию
21 апреля 1979 г.

Литература

- [1] О.В.Константинов, В.И.Церель, Б.В.Царенков. ФТП, 3, 1039, 1969. 1969.
 - [2] В.М.Ломако, А.М.Новоселов, В.Д.Ткачев. ФТП, 9, 1817, 1970.
 - [3] I.Machniak. J. of Luminescence, 16, 61, 1978.
 - [4] Е.Е.Букке, Н.Н.Григорьев, М.В.Фок. ФИАН, 79, 108, 1974.
 - [5] A.Shintani, S.Minagava, J.Electrochem. Soc., 123, 1724, 1978.
 - [6] M.Boulou, M.Furtado, G.Jacob. Philips. Tech. Rev., 37, 237, 1977.
-