

ИНЖЕКЦИОННЫЕ СВЕТОДИОДЫ С ГОЛУБЫМ И ЗЕЛЕНЫМ СВЕЧЕНИЕМ НА ОСНОВЕ НИЗКООМНОГО ZnS

Г.С.Пекарь, Н.Б.Лукьянчикова, Хоанг Ми Шинь,
М.К.Шейнман

В диодах металл – полупроводник, созданных на основе низкоомных монокристаллов ZnS, обнаружена при комнатной температуре достаточно интенсивная, стабильная голубая и зеленая электролюминесценция, регистрируемая при подаче на диоды прямого смещения $U \gtrsim 2$ в и обусловленная, очевидно, инжекцией дырок в ZnS из металлического контакта. В интервале прямых токов $10^{-5} + 10^{-1}$ а внешний квантовый выход свечения составлял 10^{-4} кв/эл при использовании в качестве инжектирующего контакта Au.

Наличие в сульфиде цинка при комнатной температуре яркой люминесценции в видимом спектральном диапазоне уже давно привлекает внимание к этому полупроводнику как к возможному материалу для создания источников видимого излучения. К сожалению, получить на основе этого вещества *p-n*- или гетеропереход, который мог бы обеспечить эффективную инжекционную электролюминесценцию, весьма сложно [1].

Вместе с тем, как позволяют предположить результаты работы [2], ZnS обладает малой величиной электронного сродства. Это, на наш взгляд, делает обоснованными попытки создать на границе низкоомного сульфида цинка с металлом запорный изгиб зон и с его помощью обеспечить инжекцию неосновных носителей (дырок) в полупроводник.

Заметим, что для создания на основе такой инжекции светодиода не менее важно добиться омичности второго контакта к полупроводнику. Последнее же (очевидно, вследствие малого электронного сродства ZnS) сделать весьма непросто. По-видимому, это является одной из причин, по которой инжекционная электролюминесценция в системах металл – низкоомный сульфид цинка до настоящего времени практически не исследовалась.

Нам удалось создать на основе низкоомных монокристаллов ZnS светодиоды, обладающие при комнатной температуре и низком напряжении достаточно интенсивным, равномерным и стабильным свечением в голубой либо зеленой областях спектра. Образцы представляли собой монокристаллы ($\rho = 1 + 10$ ом·см) размерами $\sim 3 \times 2 \times 1$ мм³, на "тыловую" поверхность которых по разработанной нами методике наносился сплав на основе In, обеспечивающий омический контакт; на "фронтальную" поверхность, после ее обработки, наносился выпрямляющий контакт. Последний представлял собой слой металла (Pt, Au, In, Mn, Cu), для которого величина работы выхода, по-видимому, превышает величину электронного сродства ZnS [2]. Коэффициент выпрямления таких диодов был достаточно высоким – $10^4 + 10^5$ при $U = 2$ в.

Достаточно интенсивная электролюминесценция наблюдалась в диодах при приложении к ним напряжения $U \gtrsim 2$ в в пропускном направлении (т. е. при положительном потенциале на фронтальном электроде). В зависимости от условий нанесения выпрямляющего контакта, максимум полосы электролюминесценции находился в голубой либо зеленой области спектра (рис. 1).

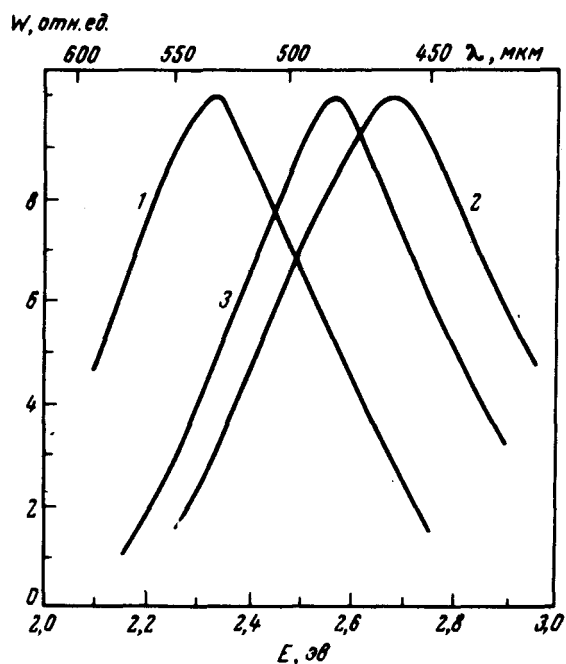


Рис. 1. Спектральное распределение зеленой (кривая 1) и голубой (кривая 2) электролюминесценции в различных диодах Au — ZnS (при $i = 30 \div 40$ ма), а также спектральное распределение фотолуминесценции, (кривая 3), измеренное на свободной от контактов части тех же монокристаллов ZnS; $T = 300^\circ\text{K}$

Вольт-яркостные характеристики светодиодов с различными выпрямляющими контактами представлены на рис. 2, а. Как видно из рисунка, при малых напряжениях ($U < 4 \div 6$ в) яркость электролюминесценции возрастает с ростом напряжения экспоненциально, а при больших U становится пропорциональной напряжению. Обнаружено, что при $U = \text{const}$ яркость излучения зависит от материала выпрямляющего контакта: она максимальна в случае Au-контакта и уменьшается с уменьшением высоты барьера, который, согласно [2], соответствующий металл образует с сульфидом цинка (рис. 2, б).

Приведенные факты позволяют предположить, что описанное свечение обусловлено инжекцией в ZnS дырок из выпрямляющего металлического контакта. Заметим, что при достаточно большом ($U \gtrsim 20$ в) обратном смещении в диодах также наблюдается свечение; это свечение весьма слабое, желто-оранжевого цвета и, как и величина обратного тока, часто неустойчивое. Свечение такого типа наблюдалось ранее и в диодах металл-полупроводник на основе ZnSe и было отнесено за счет ударной ионизации [3].

Для большинства металлов, использованных в качестве инжектирующих контактов, во всем исследованном диапазоне прямых токов ($10^{-5} - 10^{-1}$ а) интенсивность свечения возрастала пропорционально току

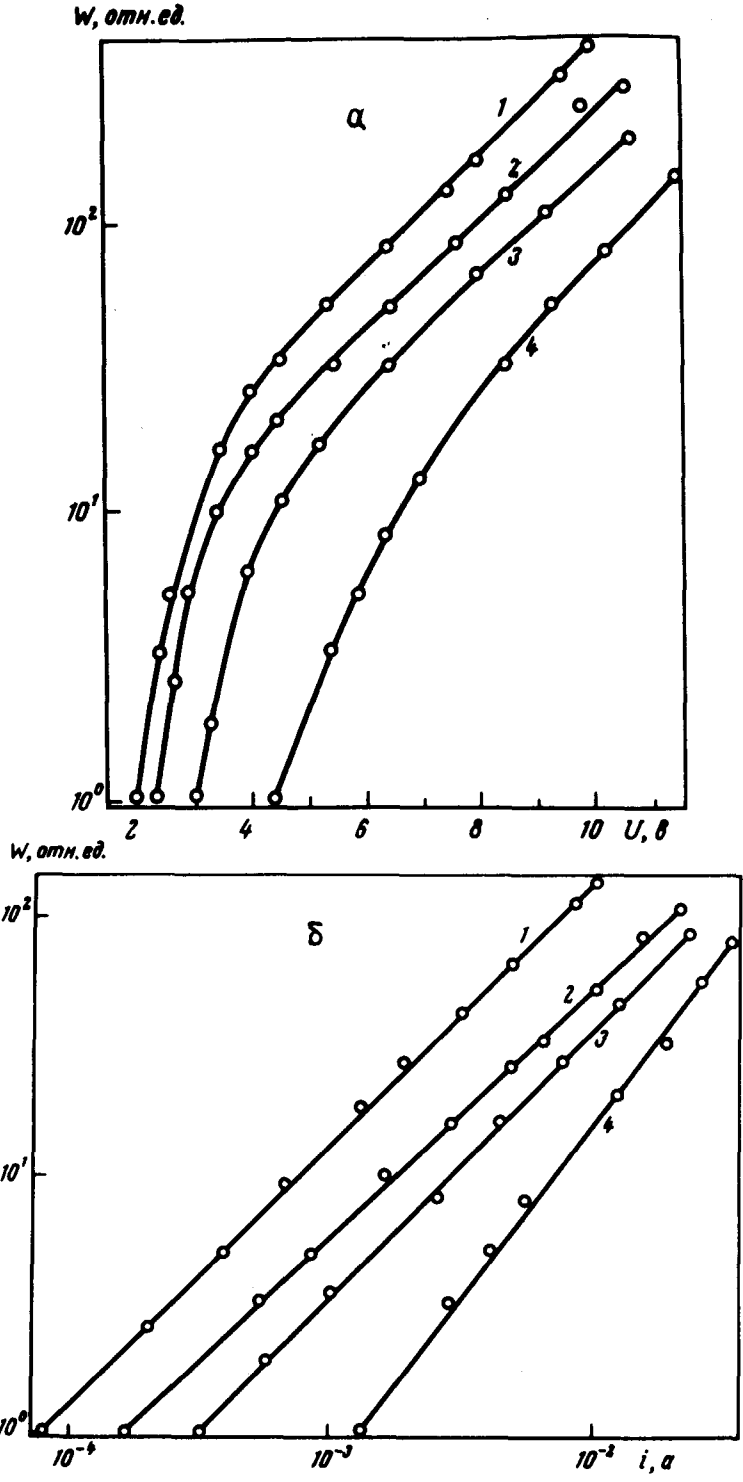


Рис. 2. Зависимости яркости свечения от величин прямого напряжения (а) и тока (б) для диодов, полученных на основе одного и того же монокристалла ZnS, с различными инжектирующими контактами: 1 - Au, 2 - Pt, 3 - In, 4 - Mn; $T = 300 \text{ }^\circ\text{K}$

(рис. 2, б). Величина внешнего квантового выхода свечения в образцах с Au-контактами составляла 10^{-4} квантов/электрон, причем при изготовлении опытных образцов не принималось никаких мер для уменьшения рассеяния излучения в образце, обеспечения оптимальной формы кристалла и т. п.

Полученные результаты позволяют сделать вывод о перспективности систем металл – низкоомный сульфид цинка для создания инжекционных источников голубого и зеленого излучения. Это тем более, важно, что создать достаточно эффективные светодиоды на основе других материалов, в которых при комнатной температуре обнаружена голубая электролюминесценция (GaN [4] и SiC [5]), насколько нам известно, пока не удалось.

Институт полупроводников
Академии наук Украинской ССР

Поступила в редакцию
11 марта 1974 г.

Литература

- [1] A.G.Fischer. J.Electrochem. Soc., 118, 139с, 1971.
 - [2] M.Aven, C.A.Mead. Appl. Phys. Lett., 7, 8, 1965.
 - [3] A.G.Fischer. Phys. Lett., 15, 313, 1964.
 - [4] J.I.Pankove, E.A.Miller, J.E.Berkeyheiser. J.Lumin., 5, 84, 1972.
 - [5] К.Кобаяси. "Дэнси дзайре", 8, 60, 1969.
-