

ЭЛЕКТРОЛЮМИНЕСЦЕНЦИЯ МОНОКРИСТАЛЛОВ
СЕЛЕНИДА ИНДИЯ

Г. А. Ахундов, А. Ш. Абдинов, Н. М. Мехтиев и А. Г. Кязым-заде

Впервые наблюдаена и исследована ИК электролюминесценция в монокристаллах n -InSe. Измерения проводились на образцах с различными удельными сопротивлениями ($\rho \approx 10^3 \div 10^5$ ом см) при 77° К под действием постоянного, прямоугольного импульсного и синусоидального электрических полей. Снимались спектральная, вольтярковая и вольтамперная характеристики изученных образцов. Оказалось, что максимум излучения соответствует $\lambda = 0.965$ мкм. Сделано предположение об инжекционном характере электролюминесценции в InSe.

Одним из значительно интересных и важных свойств полупроводниковых соединений $A^{III} B^{VI}$ со слоистой структурой является свечение при непосредственном воздействии электрического поля — электролюминесценция. До настоящего времени электролюминесценция наблюдалась и достаточно подробно исследована в GaSe, GaS и твердых растворах на их основе [1-4]. Однако пока отсутствует окончательное мнение в вопросе о механизме возникновения электролюминесценции в этих материалах. Поэтому целесообразно наблюдать и исследовать электролюминесценцию в других полупроводниковых соединениях $A^{III} B^{VI}$ со слоистой структурой. Это помогло бы объяснению механизма возникновения названного явления для разработки подходящей теории и расширению диапазона излучений. Несомненно, что последний имеет в свою очередь и значительный практический интерес.

В настоящей работе впервые сообщается об электролюминесценции одного из интересных и перспективных полупроводниковых соединений $A^{III} B^{VI}$ со слоистой структурой селенида индия.

Изученные образцы изготовлены скалыванием из крупных монокристаллов, которые получены методом медленного охлаждения при постоянном градиенте температур вдоль слитка и имели n -тип проводимости. Слоистость структуры монокристаллов InSe позволяла расслаивать из крупного слитка плоскопараллельные слои требуемых размеров и полученные образцы при этом имели зеркальную поверхность. Поэтому в дополнительной шлифовке и полировке не было необходимости. Размеры образцов варьировались в интервале $4 \times 6 \times 0.4 \div 2 \times 3 \times 0.1$ мм³. Бралась образцы с различным удельным сопротивлением, так как удельное темновое сопротивление их вдоль оси «С» при комнатной температуре менялось в пределах $10^3 \div 10^5$ ом см. Токовые контакты изготавливались из In или эвтектики In-Ga, которые нанесены на плоскопараллельные противоположные поверхности.

В результате проведенных экспериментов установлено, что при прохождении через образцы с $\rho > 10^3$ ом см токов любого типа (синусоидального, импульсного или постоянного) регистрируется излучение. Причем излучение обнаруживается при температуре 77° К, когда образец непосредственно погружен в жидкий азот. При комнатной температуре излучение не регистрировалось. Кроме этого, когда ток протекает вдоль оси «С», интенсивность излучения значительно больше, чем в перпендикулярном случае. Поэтому нами исследован первый случай. Вдоль оси «С»

излучение начинается при напряженности поля $E \sim 500 \div 1000$ в/см (в зависимости от удельного сопротивления) для различных образцов и визуально не наблюдается.

Применена экспериментальная установка, которая описана в работе [2]. Приемником свечения служил фотоумножитель ФЭУ-22, фототок которого после усиления регистрировался микроамперметром. Для измерения спектрального распределения излучения пользовались зеркальным монохроматором ЗМР-3 с кварцевой призмой.

Спектральное распределение излучения, полученное при постоянном токе для образца с $\rho \approx 10^4$ ом см, представлено на рис. 1, где различные кривые соответствуют различным значениям тока, протекающим через образец. Как видно из этого рисунка, спектр излучения охватывает область $0.85 \div 1.05$ мкм ИК диапазона

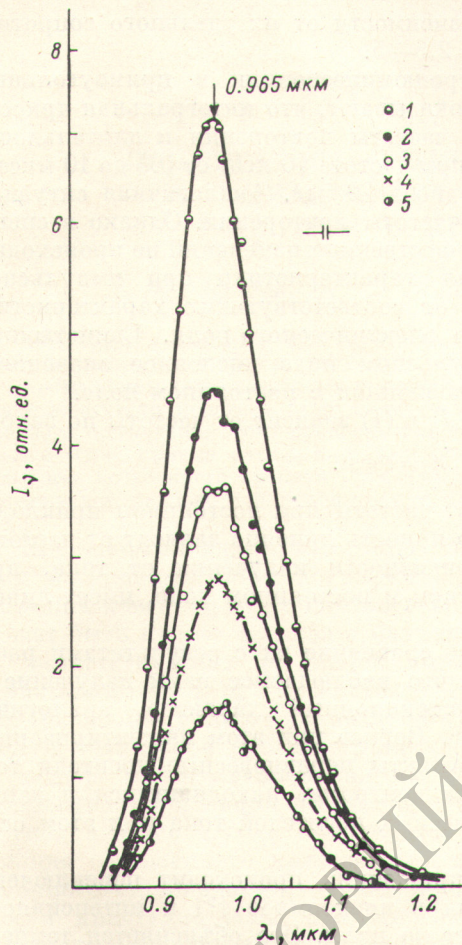


Рис. 1. Спектральное распределение яркости электролюминесценции монокристаллов InSe при 77° К при различных токах через кристалл.

i , ма: 1 — 1.5, 2 — 2.5, 3 — 3.5, 4 — 4.5, 5 — 6.5.

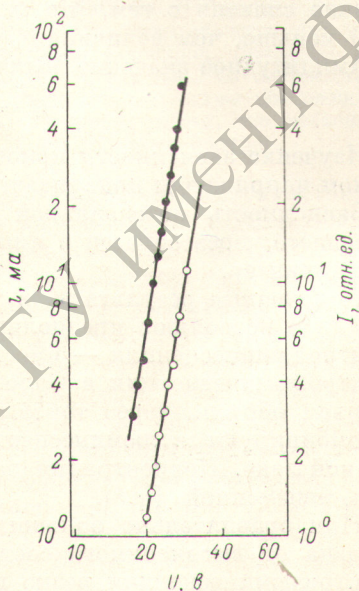


Рис. 2. Вольтамперная характеристика (I) и зависимость яркости от напряжения (U).

и имеет максимум при $\lambda = 0.965$ мкм, которому соответствует энергия ~ 1.28 эв. Эта энергия меньше, чем ширина запрещенной зоны ($\epsilon_g = 1.36$ эв) InSe, определенная по спектру оптического поглощения при 77° К [5].

С ростом тока, протекающего через образец, изменений в спектральном распределении электролюминесценции не наблюдается, а интенсивность ее монотонно растет. Это свидетельствует о том, что наблюдаемое нами свечение есть электролюминесцентное, а не тепловое излучение. Если оно имело бы тепловой характер, то максимум в спектрах должен был бы зависеть от величины тока, проходящего через образец, согласно закону Вина $\lambda_{\max} T = \text{const}$, где T — температура образца.

Спектральный состав излучения не зависит от вида применяемого электрического возбуждения, так как при прямоугольных импульсных

и синусоидных переменных электрических полях получают одинаковые картины. Как видно из рис. 2, для этого же образца с ростом напряжения и ток i через образец, и интегральная интенсивность излучения I меняются почти по одинаковому степенному закону

$$I = I_0 U^n, \quad (1)$$

$$i = i_0 U^k, \quad k \approx n, \quad (2)$$

где для исследуемых образцов в зависимости от их удельного сопротивления n и k меняются в интервале $2.5 \div 5$.

Результаты исследований электролюминесценции в прямоугольных импульсных электрических полях показывают, что интегральная яркость излучения существенно зависит от частоты повторения и длительности импульсов. С ростом длительности (при частоте 10 кГц) от 0.5 до 10 мксек. интенсивность увеличивается примерно в 20 раз. Аналогичная ситуация наблюдается также при изменении частоты повторения. Однако в спектральном составе при этом никаких существенных изменений не происходит.

Вольтамперная и вольтяркостная характеристики при импульсном возбуждении почти не отличаются от соответствующих характеристик, снятых при воздействии постоянного электрического поля. Единственное отличие связано с тем, что в импульсном поле численное значение n в (1) меньше, чем величина n , установленная в постоянном поле.

Амплитудное значение величины I_0 в (1) зависит от частоты по закону

$$I_0 = A \nu^x, \quad A = \text{const.} \quad (3)$$

Изучение зависимости яркости от частоты при постоянном прикладываемом напряжении показывает, что яркость линейно зависит от частоты.

Зависимость интегральной интенсивности излучения от тока, протекающего через образец в импульсном и постоянном поле, имеет линейный характер.

Полученные результаты, а также сравнение их с результатами работ [1-3, 5-8] позволяют предполагать, что наблюдаемое нами излучение — электролюминесценция — имеет инжекционный характер, аналогично электролюминесценции в GaSe, GaS. Вернее при этом инжектированные в объем образца через токовые контакты неравновесные носители тока рекомбинируют с люминесцентными центрами, находящимися в запрещенной зоне. Концентрация равновесных носителей тока при этом остается неизменной [1, 8].

При сравнительно больших напряжениях происходит переключение образца от высокоомного состояния в низкоомное [9] и интенсивность электролюминесценции резко падает до нуля. Это объясняется температурным гашением электролюминесценции за счет выделения в образце значительного количества Джоулева тепла в низкоомном состоянии. Совмещение явлений электролюминесценции и переключения на одном и том же образце позволяют рекомендовать S-элементы из InSe для изготовления электролюминесцентных переключателей, работающих в ИК диапазоне.

Литература

- [1] Г. А. Ахундов. Автореф. докт. дисс., Баку, 1967.
- [2] Г. А. Ахундов, И. Г. Аксянов, Г. М. Касумов. ФТП, 3, 912, 1969.
- [3] М. Н. Караман, В. П. Мушинский. ФТП, 4, 785, 1970.
- [4] A. Mercier, E. Mooser, J. Voitsky. G. Luminescence, 7, 241, 1973.
- [5] В. П. Мушинский, М. Н. Караман. Оптические свойства халькогенидов галлия и индия. 45, Кишинев, 1973.
- [6] G. A. Akhundov, I. B. Ermolovich, F. N. Kaziev, M. K. Sheikman. Phys. Stat. Sol., 35, 1065, 1969.
- [7] Л. Н. Курбатов. ФТП, 12, 3634, 1970.
- [8] Г. Хениш. Электролюминесценция. Изд. «Мир», М., 1964.
- [9] Г. А. Ахундов, А. Ш. Абдинов, А. Г. Кязым-заде, Н. М. Мехтиев. ФТП, деп. от 8/V 1973 г., № 2061—73.