

ВЫСОКОЧАСТОТНАЯ НЕУСТОЙЧИВОСТЬ РЕКОМБИНАЦИОННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В СИЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОЛЯХ

В.А.Бродбвой, А.Ч.Гозах, Г.П.Лека

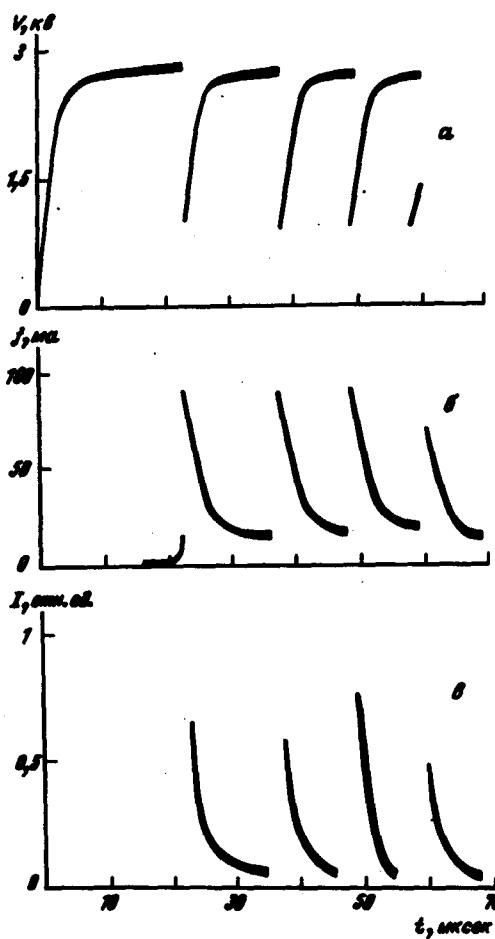
В работе описан новый эффект высокочастотной неустойчивости интенсивности рекомбинационного излучения, который наблюдается в сильных электрических полях в условиях неустойчивости тока. Эффект зарегистрирован в симметричных диодных структурах In – GaAs(Cr) – In с S-образной вольт-амперной характеристикой (ВАХ) при температуре 77°K.

Недавно нами сообщалось об эффекте высоковольтного переключения в таких структурах, которое сопровождалось кратковременным ($\lesssim 10^{-7}$ сек) импульсом собственного рекомбинационного излучения в момент переключения [1]. Устойчивое состояние системы с S-образной ВАХ достигалось образованием теплового токового шнура. В структурах, где не происходит шнурования, в области контролируемого током отрицательного сопротивления (ОС) возникают колебания тока и напряжения на структуре. При этом наблюдается неустойчивость интенсивности рекомбинационного излучения.

Исследовались диодные структуры из полуизолирующего GaAs, компенсированного хромом, с удельным сопротивлением при 300°K $\sim 10^8$ ом·см, с индиевыми контактами, вплавленными в вакууме при 350°C. Длина высокоомной базы ~ 100 мкм, площадь контактов $\sim 10^{-2}$ см². Исследования проводились при подаче на диод импульса напряжения 100 + 3000 в с длительностью 100 + 120 мксек.

При напряжении на структуре порядка 3000 в, что соответствует средним полям $\sim 3 \cdot 10^5$ в/см, возникают близкие к периодическим колебания тока и рекомбинационного излучения с частотой порядка 10⁵ Гц. На рисунке представлены осциллограммы напряжения на структуре (a), тока (b) и интенсивности излучения (в) в условиях неустойчивости. Глубина модуляции напряжения составляет $\sim 50\%$, амплитуда модуляции 1500 в. Амплитуда колебания тока достигает 100 ма. Частота наблюдаемых колебаний не зависит от сопротивления внешней цепи. Как видно из рисунка, импульсы тока и напряжения находятся в противофазе; максимум тока наблюдается в момент, когда напряжение на структуре минимально. Импульсы излучения синфазны с импульсами тока. Кривые нарастания и спада всех указанных импульсов резко отличны: время нарастания тока и интенсивности излучения совпадает со временем спада напряжения и оказывается меньше 10⁻⁷ сек. Кривая убывания тока описывается двумя экспонентами с постоянными времени $\tau_1 = 2,7 \cdot 10^{-6}$ сек и $\tau_2 = 2,3 \cdot 10^{-5}$ сек. Для кинетики нарастания напряжения на структуре характерны эти же два времени. Кривая затухания интенсивности излучения близка к гиперболе. Максимум спектра излучения наблюдается при энергиях $h\nu = 1,5$ эв, что соответствует межзонной рекомбинации носителей в GaAs.

Независимость частоты колебаний и времени спада импульса тока от сопротивления внешней цепи свидетельствует о том, что наблюдаемые колебания связаны с физическими процессами, происходящими в кристалле. Можно предложить следующий механизм неустойчивости.



a – Осциллографмма колебаний напряжения на структуре, *б* – осциллографмма колебаний тока, *в* – осциллографмма колебаний рекомбинационного излучения

Высоковольтное переключение в симметричных структурах In – GaAs(Cr) – In связывается с пробоем высокоомной базы в области повышенного поля и модуляцией сопротивления базы генерируемыми полем носителями [1]. Модуляция сопротивления может быть связана либо с r_p – механизмом [2 – 6], либо с механизмом "захваченной плазмы" [7]. В переключенном состоянии база структуры оказывается заполненной свободными носителями, что приводит к падению напряжения на ней и исчезновению области лавинного умножения. О существовании электронно-дырочной плазмы при переключении свидетельствует наблюдаемое в этом состоянии рекомбинационное излучение. Рекомбинация неравновесных носителей приводит к исчезновению плазмы. Система релаксирует к равновесному состоянию, сопротивление базы повышается. При этом снова возникают условия, необходимые для осуществления локаль-

ного пробоя. Таким образом, в кристалле периодически появляется область лавинного умножения, и сопротивление базы периодически модулируется. Наблюдается неустойчивость тока и излучения. При таком механизме частота колебаний определяется временем восстановления высокоомного состояния, т. е. временем жизни неравновесных электронов.

Асимметрия наблюдаемых импульсов тока связана с тем, что время нарастания импульса тока определяется скоростью модуляции сопротивления базы, а время спада – темпом рекомбинации неравновесных носителей. Проведено сравнение кривых спада импульса тока для одного и того же кристалла. Обе кривые описываются двумя экспонентами с одинаковыми постоянными времени ($\tau_1 = 2,7 \cdot 10^{-6}$ сек и $\tau_2 = 2,3 \cdot 10^{-5}$ сек), что свидетельствует в пользу обсуждаемого механизма. Новый тип неустойчивости излучения принципиально отличается от наблюдавшейся ранее низкочастотной неустойчивости фотолюминесценции [8], которая имела место при фотогенерации носителей, от обнаруженного в [9] явления медленного движения светящихся областей в кристаллах в сильных электрических полях, а также от неустойчивости излучения, связанного с выходом электроакустического домена [10].

Киевский
государственный университет
им. Т.Г.Шевченко

Поступила в редакцию
26 декабря 1973 г.
25 февраля 1974 г.

Литература

- [1] В.А.Бродовой, А.Ч.Гозак, Г.П.Пека. ФТП, 8, 990, 1974.
- [2] Г.А.Егиазарян, В.И.Мурыгин, В.С.Рубин, В.И.Стafeев. ФТП, 3, 1652, 1969.
- [3] В.М.Гонтарь, Г.А.Егиазарян, В.С.Рубин, В.И.Мурыгин, В.И.Стafeев. ФТП, 3, 1730, 1969.
- [4] В.А.Душкин, Г.А.Егиазарян, В.И.Мурыгин, В.И.Стafeев ФТП, 4, 1755, 1970.
- [5] H.L.Lampert. Phys. Rev. 125, 126, 1962.
- [6] K.L.Ashley, A.G.Milnes. J. Appl. Phys., 35, 369, 1964.
- [7] R.L.Johnston, D.L.Scharfetter. IEEE Trans. Electron. Dev., ED-15, 691, 1968.
- [8] Г.П.Пека, Ю.И.Карханин. ФТП, 6, 741, 1972.
- [9] М.В.Фок, Е.Ю.Львова. Труды ФИАН СССР, 68, 95, 1973.
- [10] A.Bonnot. Compt. Rend., 263, 388, 1966.