

06.2; 06.3; 07

© 1992

ИССЛЕДОВАНИЕ СТАБИЛЬНОСТИ ПЕРЕКЛЮЧЕНИЯ
ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ СУБНАНОСЕКУНДНЫХ
ФОТОННО-ИНЖЕКЦИОННЫХ КОММУТАТОРОВВ.И. К о р о л ь к о в, А.С. П р о х о р е н к о,
А.В. Р о ж к о в, А.М. С у л а т а н о в

Возможность субнаносекундной коммутации арсенидгаллиевыми структурами тиристорного типа была продемонстрирована в работах [1, 2]. При этом, если в [1] для переключения высоковольтной структуры из состояния с низкой проводимостью ($\sigma < 10^{-3} \text{ Ом}^{-1} \times \text{см}^{-1}$) в состояние с высокой проводимостью ($\sigma > 10 \text{ Ом}^{-1} \text{ см}^{-1}$) использовался внешний источник оптического излучения, то в [2] включение осуществлялось пропусканием тока по цепи управления. Интерес к исследованию стабильности включения таких коммутаторов относительно импульса запуска диктуется следующими обстоятельствами.

Мощные электрические импульсы с пикосекундными и субнаносекундными временами нарастания и спада находят широкое применение в лазерном термоядерном синтезе, пикосекундной спектроскопии жидкостей и твердых тел, топографии, оптике, электронно-оптической хронографии и др. Сокращение нестабильности запуска используемых высоковольтных коммутаторов дает важное преимущество, состоящее в возможности использования частотного режима модуляции, а не только однократного запуска. В частотном режиме происходит накопление, усреднение информации, что приводит к значительному увеличению чувствительности измерений за счет увеличения отношения сигнал-шум, пропорционально квадратному корню из числа усредненных импульсов [3].

С другой стороны, исследование стабильности момента переключения высоковольтных арсенидгаллиевых структур дает дополнительную информацию для понимания процесса аномально быстрого нарастания тока, описанного в работах [1, 2]. Аномальность процесса переключения заключается в существенном превышении над предельной дрейфовой скоростью экспериментально наблюдаемой скорости заполнения высокоомных базовых областей тиристоров электронно-дырочной плазмой. В работах [4, 5] для объяснения природы наблюдаемого процесса переключения привлекается модель стримерного пробоя в полупроводниках. Как известно [6], стримерный пробой наблюдается как разновидность электрического разряда в относительно высокоомных кристаллах (с удельным сопротивлением $10^4 \text{ Ом}\cdot\text{см}$ и более). Стример образуется в области, где

локальное значение напряженности электрического поля превышает критическую величину пробоя. Пробой вызывает увеличение концентрации носителей, достигающей величины $>10^{19}$ см $^{-3}$, что сопровождается резким снижением удельного сопротивления пробитого участка. В результате область сильного поля смещается в толщу полупроводника, вызывая пробой нового участка. Таким образом, нарастает проводящая нить, окруженная высокоомной средой. Характерный размер нити $\sim(1-5)$ мкм. Стримерный пробой характеризуется самопроизвольным изменением местоположения и геометрии проводящего канала, что, как правило, приводит к низкой стабильности момента переключения и быстрой деградации в частном режиме включения. О низкой стабильности субнаносекундного включения высоковольтных арсенидгаллиевых структур тиристорного типа свидетельствуют, в частности, данные работы [4] — полученные значения *jitter* —эффекта составляли $t_0 \sim 5$ нс. Однако наблюдаемый разброс моментов срабатывания связывается авторами работы [4] с флуктуациями энергии и длительности оптических импульсов, используемых для переключения высоковольтных структур.

В данной работе исследовались высоковольтные фотонно-инжекционные тиристоры на основе $n^+p-i-n^0(GaAs)-N-p-P(Al_xGa_{1-x}As)$ гетероструктур. Исследованные приборные структуры отличались от описанных ранее [2] лишь параметрами — P , $-i$, областей, которые задавались технологическими условиями выращивания, такими как, толщина зазора раствора-расплава, длительность и температурный режим обработки, величина потока водорода, температура начала кристаллизации и др. Статистическая обработка накопленных результатов исследования динамики процесса переключения позволяет выделить основные закономерности. 1) Субнаносекундный режим переключения высоковольтных структур надежно наблюдается в широком интервале толщины слаболегированных $-p$, $-i$, $-n^0$ базовых областей. При этом снижение толщины n^0 -области, при прочих равных условиях, приводит, как правило, к снижению длительности переключения и при толщине $W_{n^0} \leq 30$ мкм значения времени нарастания импульса тока не превышает $t_{\varphi} \leq 150$ пс (по уровню 0.1–0.9). Дальнейшее детальное изучение влияния параметров слаболегированных $-p$, $-i$, $-n^0$ областей на длительность переключения тиристорной структуры возможно лишь при условии заметного улучшения временного разрешения измерительного тракта. 2) Изменение толщины раствора-расплава от 1 до 3 мм, либо температуры начала кристаллизации от 850 до 950 °C увеличивает значение напряжения начала аномально быстрого нарастания тока со 100 до 400 В. Наблюдается одновременное увеличение длительности нарастания импульса тока, снижение стабильности момента переключения. 3) Стабильность переключения относительно импульса управления высоковольтных арсенидгаллиевых структур тиристорного типа наиболее точно отражает влияние внутренних (электрофизических и геометрических параметров слаболегированных слоев, формирующих высоковольтный p - n -переход) и внешних

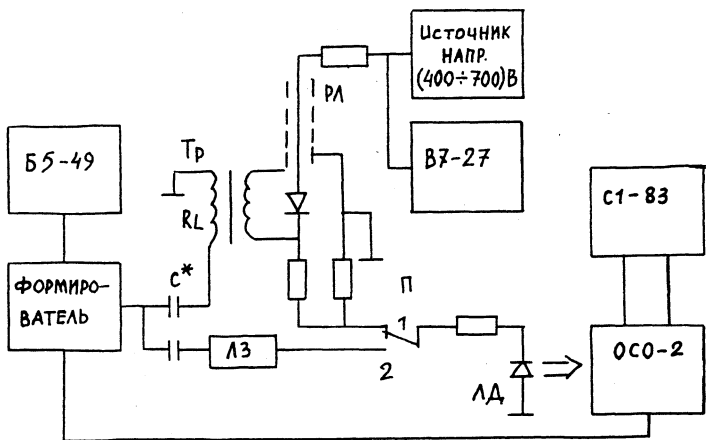


Рис. 1. Блок-схема установки для исследования стабильности времени переключения тиристорных структур.

(температуры р-п-перехода, интенсивности и спектрального диапазона оптического излучения, частоты переключения и др.) условий формирования фронта нарастания тока.

Принципиальная блок-схема исследования стабильности переключения тиристорных структур показана на рис. 1.

Задающий генератор осциллографа оптических сигналов ОСО-2 [7] запускал формирователь импульсов управления тиристорной структурой. Амплитуда импульса управления (ИУ) регулировалась источником питания Б5-49, а длительность - дифференцирующим конденсатором C^* . Максимальная амплитуда тока управления достигала 4 А. Частота следования импульсов управления менялась в диапазоне от 1 кГц до 50 кГц. На тиристорную структуру ТС через зарядную линию с волновым сопротивлением 50 Ом и ограничивающий резистор подавалось постоянное напряжение от источника, нестабильность которого не превышала 0.01%. Устанавливаемое на структуре напряжение контролировалось вольтметром В7-27. Длительность импульса тиристорной структуры задавалась зарядной линией РД. Сформированный импульс тока возбуждал полупроводниковый лазер ЛД, излучение которого регистрировалось стробоскопическим осциллографом оптических сигналов ОСО-2. Регистрируемые сигналы обрабатывались и выводились на внешний индикатор - осциллограф С1-83. По изображению на экране электронно-лучевой трубки С1-83 оптического сигнала измерялась нестабильность Δt_{oc} его положения на временной оси. Длительность временной шкалы ОСО-2 регулировалась дискретно в пределах от 0.1 до 5 нс/120мм. Наблюдаемая длительность фронта оптического сигнала не превышала 50 пс.

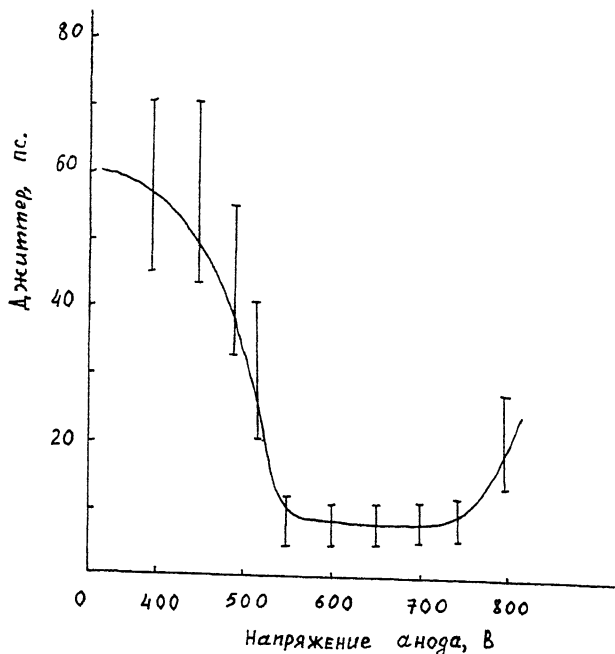


Рис. 2. Зависимость стабильности переключения высоковольтных субнаносекундных тиристорных структур от напряжения.

Преобразование электрического сигнала тиристорной структуры в оптический с последующим измерением нестабильности времени начала оптического сигнала использовано в данных измерениях по двум причинам: 1) фронт оптического сигнала (~ 50 пс) в несколько раз короче фронта электрического импульса тиристора (~ 150 – 250 пс); 2) нестабильность времени (Δt_n) прохождения сигнала по цепи ОСО-2 – формирователь-лазер-ОСО-2 не превышает 5–7 пс (переключатель П устанавливается в этом случае в положение 2). Нестабильность момента переключения тиристорной структуры (ТС) определялась из соотношения: $\Delta t = \sqrt{(\Delta t_{oc})^2 - (\Delta t_n)^2}$.

На рис. 2 представлена типичная зависимость стабильности момента переключения ТС от напряжения. Измерения выполнены на частоте 50 КГц, при которой происходило накопление и статистическая обработка принимаемого сигнала. Изучение зависимости задержки импульса, формируемого ТС относительно ИУ, показало, что нестабильность сигналов и питания при заданной стабильности источников напряжения и тока не могут вызвать нестабильность синхронизации более 3–5 пс. Следовательно, причины нестабиль-

ности скрыты в особенностях процессов переключения тиристорной структуры.

Уменьшение нестабильности Δt по мере увеличения напряжения на ТС до 600 В связывается нами с уменьшением разброса времени прохождения носителями заряда через квазинейтральную область в область лавинного умножения. Увеличение Δt при напряжениях выше 700 В вызвано началом автогенерации. Необходимо также отметить, что варьирование амплитудой ИУ от 0.1 до 4 А не приводило к существенному изменению характера представленной на рис. 2 зависимости, хотя в отдельных случаях на малых частотах ($f \leq 1$ КГц) появлялась зависимость от амплитуды и длительности ИУ.

Полученные результаты свидетельствуют о следующем:

1) Применение субнаносекундных высоковольтных коммутаторов с фотонно-инжекционным механизмом связи между р-п-переходами позволяет снизить разброс моментов срабатывания относительно запускающего импульса до 10–15 пс. Указанное значение сопоставимо с предельными параметрами в схемах синхронизации с помощью модуляции пикосекундной фотопроводимости. Немаловажным является то, что использование ФИИТ при формировании субнаносекундных перепадов напряжения не требует запуска электронно-оптических схем.

2) Аномально быстрое переключение высоковольтных арсенид-галлиевых структур тиристорного типа [2] характеризуется устойчивой пространственно-временной локализацией пробоя, либо других процессов, устойчиво воспроизводимых от импульса к импульсу. Это, на наш взгляд, делает проблематичным привлечение стримерного механизма модуляции высокоомных базовых областей в качестве возможного механизма формирования субнаносекундных перепадов напряжения.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Б е л я е в а О.А., В а й н ш т е й н С.Н., Ж и л я е в Ю.В., Л е в и н ш т е й н М.Е., Ч е л н о к о в В.Е. // Письма в ЖТФ. 1986. Т. 12. В. 15. С. 925–928.
- [2] А л ф е р о в Ж.И., Е ф а н о в В.М., З а д и р а н о в Ю.М., К а р д о - С ы с о е в А.Ф., К о р о л ь к о в В.И., П о н о м а р е в С.И., Р о ж к о в А.В. // Письма в ЖТФ. 1986. Т. 12, В. 21. С. 1281–1285.
- [3] В а с и л ь е в П.П. // Квантовая электроника. 1990. Т. 17, В. 3. С. 268–287.
- [4] В а й н ш т е й н С.Н., Ж и л я е в Ю.В., Л е в и н ш т е й н М.Е. // ФТП. 1988. Т. 22. В. 6. С. 1134–1137.

- [5] В а й н ш т е й н С.Н., Ж и л я е в Ю.В., Л е в и н -
ш т е й н М.Е. // П и с ь м а в Ж Т Ф . 1988. Т. 14. В. 16.
С. 1526-1530.
- [6] Г р и б к о в с к и й В.П. Стримеры в полупроводниках.
Тез. докл. X Всес. конф. по физике полупроводников. Минск,
1985. Ч. 1. С. 13-15.
- [7] Б а к и н о в с к и й К.Н., К о с т ю к е в и ч Н.К.,
П р о х о р е н к о А.С. // П Т Э . 1989. № 2. С. 235-
236.

Физико-технический
институт им. А.Ф. Иоффе
РАН, С.-Петербург

Поступило в Редакцию
5 мая 1992 г.