

- [1] O s w a l d R.B. // IEEE Trans. Nucl. Sci. 1966. NS-13. P. 63.
- [2] В а й с б у р д Д.И., Б а п ы ч е в И.Н. // Письма в ЖЭТФ. 1972. Т. 15. С. 537.
- [3] К о в а л ь ч у к Б.М., М е с я ц Г.А., С е м и н Б.Н., Ш п а к В.Г. // ПТЭ. 1981. Т. 4, 15.
- [4] В а й с б у р д Д.И., С е м и н Б.Н., Т а в а н о в Э.Г. и др. Высокоэнергетическая электроника твердого тела. Новосибирск: Наука, 1982.
- [5] Г у м б е л ь Э. Статистика экстремальных значений. М.: Мир, 1965.
- [6] С у р ж и к о в В.П., М а т л и с С.Б., Я к о в л е в В.Ю.// ФТТ. 1987. Т. 29. С. 64.
- [7] Л а н д а у Л.Д., Л и ф ш и ц Е.М. Теория упругости. М.: Наука, 1965.

Поступило в Редакцию
20 марта 1989 г.

Письма в ЖТФ, т. 15, вып. 7

12 апреля 1989 г.

06.2; 07; 12

ГЕНЕРАЦИЯ И СТРОБИРОВАНИЕ ПИКОСЕКУНДНЫХ
ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ИМПУЛЬСОВ УСТРОЙСТВОМ,
ОСНОВАННЫМ НА ИСПОЛЬЗОВАНИИ
ПОЛУПРОВОДНИКОВОГО ЛАЗЕРА

А. Г а л в а н а у с к а с, А. К р о т к у с,
А. Л а з у т к а, Е.Л. П о р т н о й,
Н.М. С т е л ь м а х

При помощи оптоэлектронных устройств, в которых совмещены лазеры сверхкоротких импульсов и быстродействующие полупроводниковые фотоприемники, получено временное разрешение пико- и фемтосекундного диапазона [1, 2]. Для более широкого применения таких устройств необходима замена громоздких и энергоемких твердотельных лазеров и лазеров на красителях, которые в настоящее время используются для коммутации сверхкоротких электрических импульсов, на компактные и удобные в обращении пикосекундные полупроводниковые лазеры. Первые такие попытки предпринимались в работах [3, 4], в которых была показана возможность формирования при помощи импульсов, генерируемых полупроводниковыми лазерами, электрических перепадов с временами нарастания порядка 20 пс и амплитудами в несколько сот милливольт. В настоя-

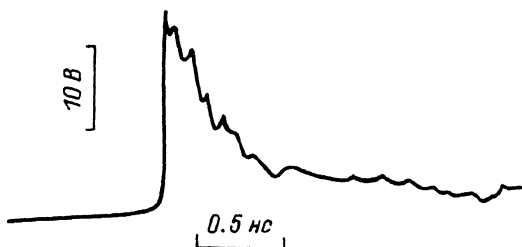


Рис. 1. Осциллограммы электрического импульса.

шем сообщении представлен следующий шаг в направлении создания полностью полупроводниковых пикосекундных оптоэлектронных устройств – применение пикосекундного полупроводникового лазера не только для генерации, но и для сверхбыстрого стробирования электрических сигналов.

В работе использован гетеролазер на основе структуры $GaAs / AlGaAs$ с внутренней модуляцией добротности [5], которая осуществлялась созданием области насыщающегося поглотителя у одного из зеркал лазерного резонатора путем глубокой имплантации тяжелых ионов. Лазер генерировал на длине волны 830 нм импульсы длительностью 7 пс и энергией 16 пДж. Преимуществами пикосекундных лазеров данного типа являются сравнительно большая генерируемая мощность, большая частота следования импульсов (до 10 МГц), простая схема питания, которое осуществляется импульсами наносекундной длительности, и компактность, обусловленная отсутствием внешнего резонатора.

Световые импульсы, генерируемые лазером, использовались для возбуждения фотопроводимости в быстродействующих оптоэлектронных затворах, изготовленных из полужизолирующего кристалла $InP:Fe$. Затворы на основе этого материала получили наибольшее распространение в пикосекундной оптоэлектронике в связи с их большой чувствительностью, высокими пробойными напряжениями и малыми (несколько сот пикосекунд) временами восстановления темнового сопротивления. Оптоэлектронные затворы представляли собой копланарные структуры с металлической полоской, нанесенной на одной из поверхностей кристалла, в которой была образована фоточувствительная щель, шириной 5 мкм. Излучение лазера фокусировалось при помощи микроскопического объектива с большой числовой апертурой ($NA = 0,65$), что приводило к получению светового пятна диаметром порядка 5 мкм и способствовало эффективному использованию энергии лазерного импульса.

На рис. 1 показана осциллограмма электрического импульса, генерируемого оптоэлектронным затвором после его освещения лазерным импульсом. Импульс сфотографирован с экрана осциллографа реального времени С7-19. Ширина частотной полосы данного осциллографа (5 ГГц) недостаточна для того, чтобы при его помощи измерять время нарастания импульса, поэтому определение этой ве-

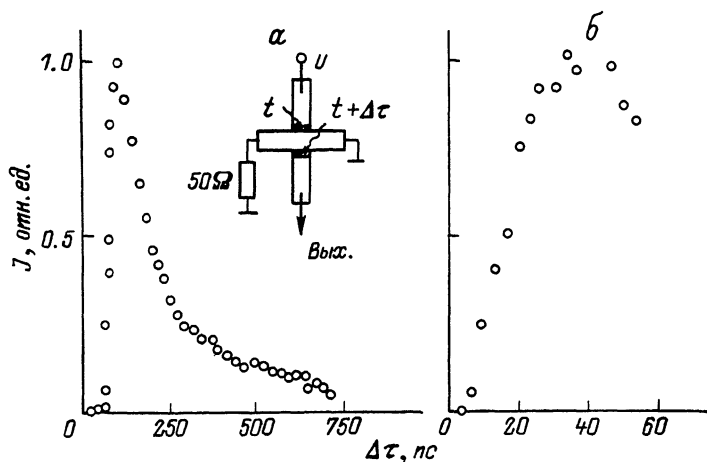


Рис. 2. Результат стробирования импульса фотопроводимости (а) и передняя его часть (б).

пичины осуществлялось корреляционной методикой, описанной нами в работе [4]. Полученное время нарастания составляет ~ 10 пс. Электрические импульсы с такими короткими фронтами и сравнительно большими (2–2.5 В) амплитудами до настоящего времени было возможно получать лишь при помощи более сложных систем, использующих мощные лазеры сверхкоротких импульсов, поэтому описанное устройство должно найти многочисленные применения.

В качестве примера такого применения ниже будут приведены результаты корреляционных измерений быстродействия пикосекундного фотоприемника. Во вставке к рис. 2 схематически изображен вид микрополоскового высокочастотного модуля, который использовался в данном эксперименте. К центральному проводнику микрополосковой структуры подключались два одинаковых затвора из $InP:Fe$, один из которых служил для генерации коротких электрических импульсов, используемых для стробирования кинетики фотопроводимости во втором оптоэлектронном затворе. Затвор, генерирующий стробимпульсы, предварительно заряжался от источника постоянного напряжения. Для формирования короткого заднего фронта электрического импульса один конец центрального проводника закорачивался на расстоянии L от места подключения затворов. При таком включении формируются импульсы, длительность которых равна $\Delta t = 2L/c_1$ (c_1 – скорость распространения электромагнитных волн в диэлектрической подложке линии), а времена нарастания и спада определяются длительностью лазерных импульсов [6].

Оба затвора освещались частями одного и того же светового импульса, одна из которых пропусклась через оптическую линию задержки переменной длины. Измерялась зависимость электрического заряда, поступающего через исследуемый фотоприемник на выход

измерительного модуля, от величины задержки. Эта зависимость эквивалентна кинетике фотопроводимости во втором оптоэлектронном затворе после его освещения лазерным импульсом.

Результаты измерений представлены на рис. 2, при этом для большей наглядности отдельно с увеличенной разверткой показана передняя часть импульса фотопроводимости. Время спада импульса, равное примерно 250 пс, соответствует данным об интенсивности рекомбинации неравновесных фотовозбужденных носителей тока в $InP:Fe$, а время нарастания на уровне 0.1–0.9 составляет $\tau_1 = 18$ пс. Из предыдущих измерений известно, что истинное время нарастания сигнала фотопроводимости в данном затворе равно $\tau_2 = 10$ пс, поэтому можно оценить длительность стробирующих электрических импульсов, определяющих предельное временное разрешение настоящего эксперимента. Воспользовавшись при этом формулой Лурье $\Delta t = \sqrt{\tau_1^2 - \tau_2^2}$, получим значение $\Delta t = 15$ пс.

Достигнутое временное разрешение близко к удвоенной длительности лазерных импульсов – предельному быстрдействию оптоэлектронных устройств данного типа. Примечательно, что для этого не потребовались высокочастотные измерительные приборы. Эти результаты показывают, что в широкополосных оптоэлектронных измерительных системах могут успешно применяться и полупроводниковые пикосекундные лазеры.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Picosecond Optoelectronic Devices (Ed. Chi H. Lee). Academic Press, 1984.
- [2] High-Speed Electronics (Ed. B. Kallback and H. Beneking), Springer-Verlag Berlin etc. 1986. P. 233.
- [3] Васильев П.П., Голдобин И.С., Диджюлис А.А., Ефимчик М.И., Ефремов С.В., Левитас Б.Н., Сергеев А.Б., Шатковский Е.В. // ДАН СССР. 1988. Т. 300. № 1. С. 100–103.
- [4] Галванаускас А., Вайтекунас Ф., Кроткус А., Суткус К. Квантовая электроника. 1989. Т. 16. № 5 С. 1057–1059.
- [5] Журавлев А.Б., Плявенек А.Г., Портной Е.Л., Серегин В.Ф., Стельмах Н.М., Якубович С.Д. // ФТП. 1988. Т. 22. В. 7. С. 1208–1212.
- [6] Margulis W., Persson R. // Rev. Sci. Instrum. 1985. V. 56. No 8. P. 1586–1588.

Поступило в Редакцию
30 января 1989 г.