

ИССЛЕДОВАНИЕ ФОТОЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ И БЫСТРОДЕЙСТВИЯ  
МДЦДМ-СТРУКТУР НА ОСНОВЕ КРЕМНИЯ

Н. Ф. Ковтоник, В. Ф. Литвинов, В. А. Морозов,  
Нго-Ван-Би, В. В. Никитин / А. С. Семенов /

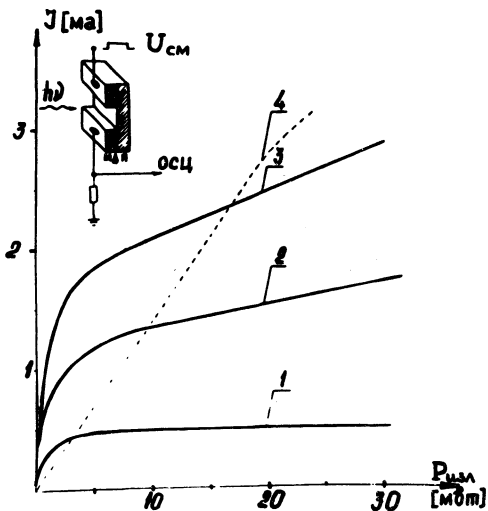
Целью данной работы являлось изучение зависимости фоточувствительности МДЦДМ-структур /I-4/ от уровня падающей световой мощности и измерение времени задержки импульса фотосоответа, снимаемого со структуры, относительно импульса излучения лазера.

I. Структура МДЦДМ (металл-диэлектрик-полупроводник-диэлектрик-металл) была изготовлена в планарном исполнении (рис. 1) /I/. В качестве диэлектрических слоев использовалась пленка  $\text{TiO}_2$  толщиной 0,2 мкм, основой структуры служил высокоомный ( $\rho = 10^4$  ом.см) кремний толщиной 150 мкм. Светочувствительная область структур составляла  $\sim 20 \times 500$  мкм. Приемники работали при комнатной температуре. На структуры подавались импульсы напряжения с амплитудой  $60 + 100$  в и длительностью в несколько микросекунд от генератора типа Г5-15. Последовательно со структурой включались различные сопротивления  $R_n$  величиной 75 ом, 100 ом, 1 ком, 10 ком, с которых сигналы фотосоответа подавались на осциллограф.

При исследовании фоточувствительности МДЦДМ-структур в качестве источника использовались лазерные диоды на GaAs, работающие при температуре жидкого азота или при комнатной температуре. Диоды возбуждались импульсами тока длительностью  $\sim 1$  мксек. Для измерения мощности излучения лазера применялись калиброванные кремниевые фотодиоды с рабочей площадью  $\sim 0,6$  см<sup>2</sup>. Сигнал фотосоответа с фотодиодов и МДЦДМ-структур регистрировался на осциллографе С1-17.

При исследовании времени задержки импульса фототока структуры относительно импульса излучения использовались двойные ла-

зерные диоды, установленные на хладопроводе азотного криостата. Кроме исследуемых структур в качестве приемника излучения использовался быстродействующий фотоэлектронный умножитель типа ЭЛУ-57



Р и с. 1. Зависимость величины фототока МДЦДМ-структуры от уровня мощность излучения лазера. Праметром кривых 1, 2, 3 служит величина  $R_{\text{н}}$  (10 ком, 1 ком, 100 ом соответственно). Кривая 4 - сигнал с калиброванного кремниевого фотодиода, закрытого маской.

с временным разрешением  $\sim 2$  нсек. Импульсы излучения лазера и сигнал фотоответа регистрировались с помощью осциллографа СИ-11, позволяющего наблюдать сигналы с временем нарастания и спада не хуже 4 нсек.

II. Измерения фоточувствительности структур проводились следующим образом. Излучение лазера, расположенного в фокальной плоскости выходной линзы, фокусировалось с помощью объектива на чувствительную площадку структуры. Поскольку излучение диода не удавалось сфокусировать в пятно с размерами  $20 \times 500$  мкм (размеры чувствительной области структуры), то измерения проводились при небольшой расфокусировке света. В этих условиях снималась зависимость фотоответа структуры от уровня падающей мощности

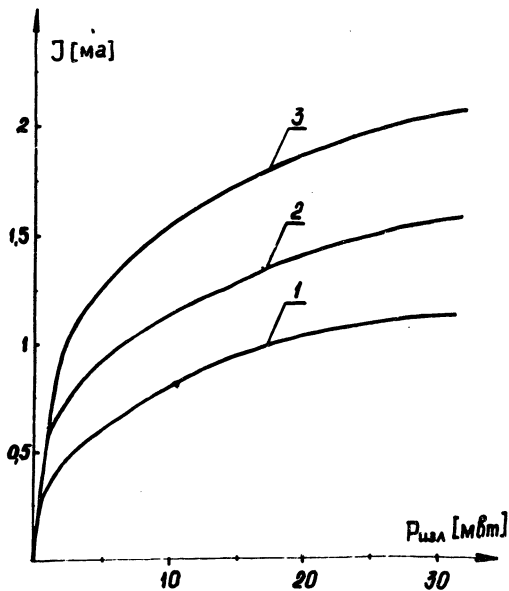
при различных значениях  $V_H$  (кривые 1, 2, 3 рис. 1). Затем на место структуры помещался калиброванный фотодиод и определялась мощность излучения по значению фототока фотодиода при различных токах инжекции. Для того, чтобы определить долю надучения, попадающую на чувствительную область структуры, измерялась величина сигнала с фотодиода, который был закрыт непрозрачной маской со щелью размерами  $\sim 20 \times 500$  мкм (кривая 4, рис. 1). Как следует из рисунка 1, наклон кривых 4,3, соответствующих величине фототока, снимаемого с фотодиода с маской и со структуры при  $V_H = 100$  ом, при малых мощностях излучения отличается примерно в 10 раз. Это показывает, что фоточувствительность данной структуры достигает значения 1 а/вт (чувствительность фотодиода составляла  $\sim 0,1$  а/вт).

При напряжении на структуре  $\sim 100$  в фоточувствительность исследованных образцов, отличающихся по размерам приемной площадки, составляла  $0,5 + 1$  а/вт, что превосходит чувствительность обычных кремниевых фотодиодов. Такое большое значение фоточувствительности свидетельствует об усилении фототока в МДПМ-структурах. В случае однородного поля в объеме полупроводника его величина не превосходит значения  $5 \cdot 10^4$  в/см. При таких полях в кремнии ионизационные процессы еще не развиваются. Однако можно предположить, что из-за неоднородности кремния возможно увеличение локальной напряженности поля в материале до величины, достаточной для развития лавинного умножения фотоэлектронов.

Насыщение фоточувствительности структур происходит благодаря экранированию внешнего поля, приложенного к структуре, внутренним полем электронно-дырочных пар. Влияние экранирования поля на величину фототока структуры можно проследить по кривым 1, 2, 3 рис. 2. Параметром кривых служит величина напряжения, подаваемого на образец. Как следует из рис. 2, насыщение фототока наступает тем раньше, чем меньше внешнее поле, и наблюдается уже при световой мощности 2-5 мвт.

III. Точность измерения времени задержки фототока структуры от импульса излучения лазера во многом определяется крутизной переднего фронта светового сигнала. Поэтому для измерения использовались двойные лазерные диоды, работающие в режиме не-

однородного возбуждения. В таком режиме крутизна ваттамперной характеристики лазера существенно увеличивается, что дает возможность эффективно управлять мощностью излучения с помощью ма-

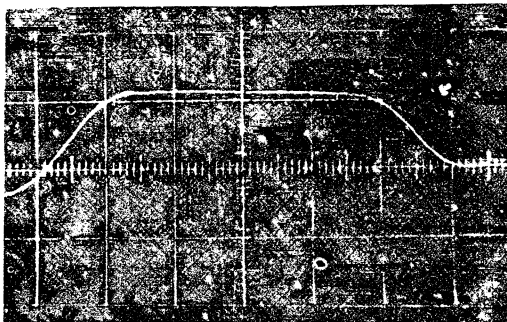


Р и с. 2. Зависимость уровня насыщения фототока от амплитуды приложенного к структуре напряжения и мощности излучения. Параметром кривых 1, 2, 3 служит величина напряжения (60, 80 и 100 в соответственно).

лых токов /5/. В одну часть диода инжектировались импульсы тока длительностью  $\sim 1$  мксек и в другую - импульсы тока с длительностью  $20 + 100$  нсек от генератора Г5-П. Амплитуда длинных импульсов была в несколько раз больше амплитуды коротких импульсов тока и обеспечивала припороговое действие лазера. Короткий импульс тока включал двойной диод в режиме генерации. При таких условиях возбуждения диод излучал импульсы света с длительностью, определяемой генератором Г5-П, и передним и задним фронтами не хуже 2 нсек (импульсы регистрировались с помощью ЗЛУ-Ф7 и пода-

вадись на пластине вертикального отклонения луча осциллографа СІ-ІІ).

Световой импульс фокусировался на структуру, и напряжение фототовета, снимаемого с нагрузочного сопротивления  $R_H = 75 \text{ ом}$ ,



Р и с. 3. Осциллограмма фототовета структуры.  
Длительность развертки  $\sim 4 \text{ нсек/см}$ .

подавалось на усилитель осциллографа СІ-ІІ. Длительность импульса фототовета определялась длительностью светового импульса, а время нарастания и спада сигнала определялось полосой пропускания усилителя осциллографа и составляло 4 нсек (рис. 3). С учетом времени распространения импульса фототовета по кабелю и времени распространения света от лазера до структуры было получено, что время задержки между импульсом тока, подаваемого на диод, и импульсом фототовета составляет приблизительно  $2 + 3 \text{ нсек}$ . Если учесть, что время задержки светового излучения в диоде относительно тока составляет  $1 + 2 \text{ нсек}$  /6/, то можно утверждать, что время задержки фототовета относительно импульса излучения не более  $1 + 2 \text{ нсек}$ .

Следует отметить, что измеренное время задержки структуры не зависело в условиях данного эксперимента от уровня падающей мощности и от амплитуды напряжения, подаваемого на структуру. Этот факт может быть объяснен тем, что при используемых напряжениях величина поля в полупроводнике превосходит  $10^4 \text{ в/см}$ . При таких полях происходит насыщение дрейфовой скорости фотоэлектронов, и время пробега чувствительной области для исследу-

дованных образцов меньше  $10^{-9}$  сек. Другим возможным объяснением этого обстоятельства может служить то, что излучение лазера фокусировалось на площадку существенно большую, чем размеры светочувствительной области структуры. Поэтому процесс образования электронно-дырочных пар под действием света шел по всей области, включая и участки ее, расположенные в непосредственной близости от контактов. Время дрейфа пар к границе полупроводник-диэлектрик может быть поэтому достаточно малым.

Проведенные измерения показали, что планарные МДПДМ-структуры на основе кремния имеют высокую чувствительность и высокое быстродействие. Эти качества структур позволяют с успехом использовать их при создании когерентных быстродействующих оптронов.

Поступила в редакцию  
7 июля 1972 г.

#### Л и т е р а т у р а

1. Н. Ф. Ковтоник. ФТП, 3, 636 (1969).
2. Н. Ф. Ковтоник. Труды IV Всесоюзного совещания по физическим свойствам р-n переходов в полупроводниках, Одесса, 1970 г. Изд. ОГУ, 1972 г.
3. Н. Ф. Ковтоник, А. А. Магомедов, П. А. Богомолов, О. И. Купчинский. ФТП, 5, 1174 (1971).
4. Н. Ф. Ковтоник, В. А. Морозов, В. В. Никитин, Ю. М. Попов. Сб. "Квантовая электроника", № 6, 113 (1971).
5. Ю. П. Захаров, В. В. Никитин, А. С. Семенов, А. В. Успенский, А. А. Шеронов, В. А. Шеглов. Препринт ФИАН, № 37, 1966 г.
6. Ю. А. Дрожбин, Ю. П. Захаров, В. В. Никитин, А. С. Семенов, В. А. Яковлев. ФТП, 1, 1575 (1967).