

ЛАВИННОЕ УМНОЖЕНИЕ НОСИТЕЛЕЙ ТОКА В МДП-СТРУКТУРАХ  
НА ОСНОВЕ Ge И InAs

Н. П. Аннаоразов, Л. Е. Гатько, В. И. Козлов, А. Б. Кравченко,  
И. Г. Неизвестный, А. Ф. Плотников, С. В. Покровская,  
И. Н. Сорокин, В. Э. Шубин

УДК 539.293:537.529

Сообщается о реализации лавинного процесса в системах  $Me-Si_3N_4-SiO_2-Ge$  и  $Me$  - анодный окисел  $InAs-InAs$ .

Исследования /1-3/ показали, что процесс лавинного умножения носителей тока в МДП-структуре имеет ряд отличий от аналогичного процесса в p-n переходе, которые делают его перспективным для создания новых типов полупроводниковых приборов, в частности, многоэлементных фотоприемных устройств с внутренним усилением /3/. В связи с этим представляет интерес создание лавинных МДП-устройств, чувствительных к излучению в ИК диапазоне.

В настоящей работе исследовалась возможность реализации лавинного умножения носителей в МДП-структурах на основе Ge и InAs.

Результаты исследований МДП-структур на основе Si и GaAs /1, 4, 5/ показали, что основными требованиями, предъявляемыми к диэлектрическим слоям при работе структуры в лавинном режиме, являются высокая импульсная электрическая прочность - до  $5 \cdot 10^6 - 10^7$  В/см и достаточно малые генерационные токи в приповерхностной области полупроводника. На основании этих требований нами выбирались соответствующие методы получения диэлектрических слоев для Ge и InAs.

МДП-структуры на основе Ge изготавливались следующим образом. Исходные образцы p-типа в виде шайб толщиной  $\sim 1$  мм с концентрацией носителей  $\sim 8 \cdot 10^{15}$  см<sup>-3</sup> механически полировались и травились в медленном травителе. На травленную поверхность пиро-

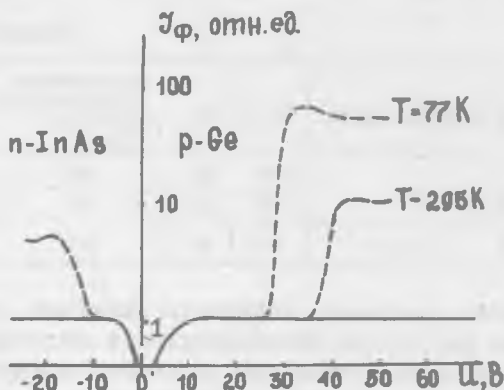
лизом тетраэтооксисилана при  $670^{\circ}\text{C}$  наносился слой  $\text{SiO}_2$  толщиной  $\sim 200 \text{ \AA}$ . Поверх слоя  $\text{SiO}_2$  наносился слой  $\text{Si}_3\text{N}_4$  толщиной  $\sim 1000 \text{ \AA}$ , который получался по реакции силана с аммиаком при  $700^{\circ}\text{C}$ .

В случае  $\text{InAs}$  использовался материал  $n$ -типа с концентрацией  $\sim 3 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$ . Пластины  $\text{InAs}$  подвергались механической полировке и травлению, после чего на них наносился диэлектрический слой толщиной  $\sim 1000 \text{ \AA}$  методом анодного окисления. Окисление производилось в комбинированном режиме, состоящем из двух стадий: гальваностатического окисления с плотностью тока  $\sim 0,5\text{--}1 \text{ мА/см}^2$  до напряжения 40 В и последующей выдержки при напряжении 30 В в течение 5 минут. На изготовленные таким образом структуры диэлектрик - полупроводник (ДП) наносились полупрозрачные металлические электроды из  $\text{Ni}$  или  $\text{Au}$ , с размером светочувствительной площадки  $\sim 0,3 \text{ мм}^2$ .

Предварительные эксперименты по проверке электрической прочности выращенных диэлектрических слоев показали, что для МДП-структур на основе  $\text{Ge}$  напряженность пробоя диэлектрика по постоянному напряжению составляет  $\sim 10^7 \text{ В/см}$ , а для структур на основе  $\text{InAs}$   $\sim 5 \cdot 10^6 \text{ В/см}$ . В импульсном режиме те и другие пленки уверенно выдерживали напряженности  $\sim 10^7 \text{ В/см}$ , необходимые для развития лавинного процесса в полупроводнике.

Для создания в образце полей с высокой напряженностью к нему прикладывалось линейно нарастающее напряжение с амплитудой от 20 В до 100 В. Для наблюдения за динамикой электрического процесса в образце МДП-структура освещалась импульсами He-Ne лазера с  $\lambda = 0,63 \text{ мкм}$  и измерялись зависимости фототока  $I_{\phi}$  в цепи структуры от мгновенного значения приложенного напряжения  $U$  (см. рис. 1). В работе /3/ было показано, что на интенсивность лавинного процесса в МДП-структуре существенно влияют генерационные токи в приповерхностном слое полупроводника и крутизна приложенного напряжения, которая определяет величину квазиравновесного лавинного тока. Поэтому, для создания оптимальных условий для возникновения лавины, к МДП-структуре подводилось постоянное смещение, позволявшее регулировать электрическое состояние границы раздела ДП и снижать величину генерационных токов /6,7/, а также подбиралась оптимальная длительность импуль-

са напряжения. Эксперименты на Ge проводились при 295 К и 77 К, на InAs - при 77 К.



Р и с. I.

Как видно из рисунка, амплитуда фототока на начальном участке быстро насыщается в связи с большим коэффициентом поглощения красного света в Ge и InAs. В случае отсутствия лавинного умножения амплитуда фототока сохраняется постоянной вплоть до напряжения пробоя диэлектрика (сплошная линия). Однако, путем подбора оптимальных условий по электрическому состоянию границы раздела ДП и по длительности импульса напряжения, нам удавалось получить значительное усиление фототока в области напряжений, соответствующих напряженностям лавинного процесса в p-n-переходе (штриховая линия). При этом, как видно из рисунка, коэффициент умножения тока был достаточно велик для уверенной констатации возникновения лавинного процесса в МДП-структурах на основе Ge и InAs.

Отметим, что зависимости коэффициента умножения от электрического состояния границы раздела имели сложный характер, отличающийся от аналогичных зависимостей для системы Si-SiO<sub>2</sub> [7]. Оптимальная длительность импульса напряжения уменьшалась при повышении температуры и при переходе к полупроводнику с меньшей шириной запрещенной зоны.

Достигнутые значения коэффициента умножения фототока  $M_{\Phi}$  при оптимальных условиях эксперимента приведены в таблице.

Таблица

Полупроводник	T, K	$M_{\Phi}$	Оптимальная длительность импульса (мкс)
Ge	295	10	150
	77	60	350
InAs	77	5	200

Дальнейшее увеличение коэффициента умножения, представляющее интерес для создания фотоэлектрических лавинных МДП-устройств на основе Ge и InAs, может быть достигнуто снижением величин темновых генерационных токов при помощи более совершенной технологии обработки поверхности полупроводника и нанесения диэлектрических слоев.

Поступила в редакцию  
26 июня 1978 г.

#### Л и т е р а т у р а

1. A. Goetzberger, E. H. Nicollian, J. Appl. Phys., **38**, 4582 (1967).
2. А. Б. Кравченко, А. Ф. Плотников, В. Э. Шубин, Тезисы докладов III симпозиума "Плазма и неустойчивости в полупроводниках", стр. 150, Вильнюс, 1977 г.
3. А. Б. Кравченко, А. Ф. Плотников, В. Э. Шубин, Квантовая электроника, **5**, № 9, 1918 (1978).
4. A. Goetzberger, E. H. Nicollian, Appl. Phys. Lett., **2**, N 12, 444 (1966).

5. Н. П. Аннаоразов, В. И. Козлов, А. Б. Кравченко, А. Ф. Плотников, И. Н. Сорокин, В. Э. Шубин, Тезисы докладов секции "Диэлектрическая электроника" всесоюзной научной конференции "Физика диэлектриков и новые области их применения", стр. 71, Караганда, 1978 г.
6. L. S. Weit, J. G. Simmons, Sol. St. Electr., 18, 853 (1975).
7. А. Б. Кравченко, В. Э. Шубин, Тезисы докладов VI всесоюзного совещания по физике поверхностных явлений в полупроводниках, часть 2, стр. 36, изд. "Наукова думка", Киев, 1977 г.