

ГЕНЕРАЦИЯ НОСИТЕЛЕЙ ЗАРЯДА В НЕРАВНОВЕСНЫХ УСЛОВИЯХ В
МДП-СТРУКТУРЕ НА ОСНОВЕ АНТИМОНИДА ИНДИИ

В. В. Ковалевский, А. Ф. Плотников, В. Э. Шубин

УДК 621.315.592

Исследовалось введение МДП-структуры на основе антимионида индия n -типа в режиме нестационарного обеднения. Показано, что причиной резкого уменьшения нестационарного поверхностного потенциала является перезарядка ловушек, локализованных вблизи границы раздела полупроводник - диэлектрик.

В последнее время проводятся широкие исследования нестационарных процессов в МДП-структурах на InSb в связи с возможностью создания на их основе различных приборов, работающих в инфракрасной области оптического диапазона /1/. Генерационные процессы в области границы раздела полупроводник - диэлектрик, определяющие при нестационарном режиме поведение поверхностного потенциала полупроводника, к настоящему времени слабо изучены. Настоящая работа посвящена исследованию генерационного процесса в МДП-структуре на основе InSb , при приложении к ней импульсных напряжений.

В наших экспериментах использовались МДП-структуры на основе InSb n -типа с концентрацией доноров 10^{14} см^{-3} . Диэлектрический слой выращивался путем анодного окисления подложки в водных и органических растворах КОН. Толщина диэлектрика была порядка $1200 \pm 1500 \text{ \AA}$. На диэлектрик наносился полупрозрачный никелевый электрод прямоугольной формы с площадью 1 мм^2 , 4 мм^2 и 50 мм^2 . Все измерения проводились при температуре 80 K .

Измеряя зависимость от времени общей емкости структуры и перераспределение напряжения между полупроводником и диэлектриком при прикладывании к структуре обедняющего прямоугольного импульса напряжения, мы заметили, что при амплитуде импульса до $1,5 \text{ В}$ время установления инверсионного слоя составляет $\sim 1 \text{ мс}$,

а при больших амплитудах время установления резко уменьшается, достигая единиц микросекунд при амплитуде 5+6 В. Отсюда можно сделать вывод, что при определенном поле на границе раздела включается генерационный процесс, в результате которого происходит быстрая экранировка внешнего поля.

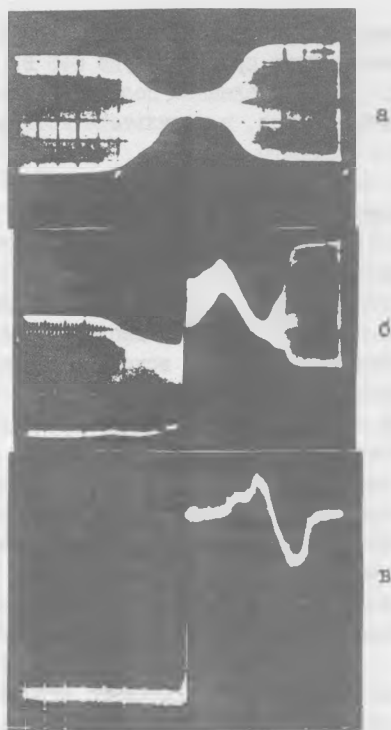
Для выяснения сущности процесса использовалась методика, позволяющая наблюдать кинетику тока, проходящего через структуру при приложении к ней равнобедренного треугольного импульса напряжения различной длительности и амплитуды. Одновременно можно было прикладывать к структуре постоянное напряжение требуемой полярности и величины. Это позволяло наблюдать нестационарные токи зарядки структуры при различных исходных условиях на границе раздела полупроводник - диэлектрик.

Для наблюдения за ходом поверхностного потенциала за время импульса предусматривалась возможность подачи на структуру малого по амплитуде синусоидального сигнала с частотой $\sim 10^5$ Гц.

На рис. 1а представлена осциллограмма вольт-фарадной характеристики, полученной при следующих условиях: частота ВЧ сигнала $f_{ВЧ} = 10^5$ Гц, частота сканирования $F_{СК} = 10^3$ Гц, амплитуда сканирующего сигнала $V_{СК} = \pm 1,5$ В. Огибающая ВЧ составляющей в данном случае представляет собой типичную высокочастотную С-У характеристику.

На рис. 1б представлена осциллограмма, полученная в тех же условиях, при увеличении размаха сканирующего напряжения до $\pm 4,5$ В. Видно, что амплитуда ВЧ составляющей на прямой и обратной ветвях ведет себя существенно неодинаково. Заметно также, что ВЧ составляющая накладывается на ток зарядки структуры, осциллограмма которого представлена на рис. 1в.

Вначале, при приложении к структуре положительного напряжения (прямая ветвь), ток через структуру пропорционален емкости диэлектрика C_0 и крутизне напряжения. Величина тока хорошо согласуется со значением емкости C_0 , измеренной другими способами. По мере уменьшения аккумуляционного тока и образования слоя пространственного заряда (ОПЗ) общая емкость структуры, равная последовательно соединенным емкости диэлектрика и емкости ОПЗ, уменьшается вследствие уменьшения $C_{ОПЗ}$. В результате ток через структуру падает. Далее ток через структуру резко увеличивается до значения, превосходящего величину тока, определяемого емкостью ди-

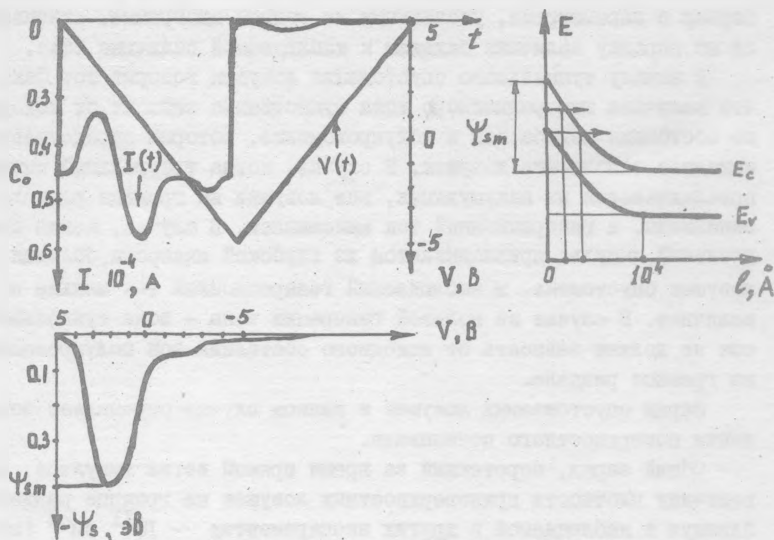


Р и с. I.

электрика C_0 , и, перейдя через максимум, стремится к начальной величине тока, обусловленной зарядкой емкости диэлектрика. На обратном ходе треугольного импульса зарядный ток практически постоянен.

Подобная картина поведения тока зарядки наблюдается при изменении частоты прикладываемого треугольного напряжения вплоть до $F_{СК} = 10^5$ Гц, причем в области наименьших крутизн прикладываемого напряжения ($dV/dt \sim 10^3$ В/с) процесс носит остро пороговый характер.

На рис. 2 приведен импульс тока, соответствующий прямой ветви треугольного напряжения, и рассчитанный из него график изменения поверхностного потенциала за время действия импульса.



Р и с. 2.

Поверхностный потенциал рассчитывался по формуле /2/

$$\int i dt = C_0 (\Delta V - \Delta \psi),$$

где i — измеренное значение тока, V — приложенное напряжение, а ψ — поверхностный потенциал.

Внизу справа представлена зонная диаграмма границы раздела в момент максимального обеднения. Видно, что поверхностный потенциал более чем в два раза превышает ширину зоны полупроводника.

Предлагается следующая модель, объясняющая поведение тока и поверхностного потенциала структуры. В момент нестационарного обеднения поверхности полупроводника при скорости изменения внешнего напряжения больше пороговой ($dV/dt \geq 10^3$ В/с) на границе раздела создаются благоприятные условия для опустошения приповерхностных ловушек путем туннелирования электронов с их уровней в зону проводимости полупроводника через треугольный барьер ОПЗ. Менее вероятно, но возможна также полевая эмиссия электронов из валентной зоны полупроводника в зону проводимости.

Расчетное значение величины туннельного тока через треугольный барьер с параметрами, указанными на зонной диаграмме, оказывается по порядку величины близким к наблюдаемой величине тока.

В пользу туннельного опустошения ловушек говорит тот факт, что величина генерационного тока существенно зависит от исходного состояния изгиба зон в полупроводнике, которым определяется исходное заполнение ловушек. В случае, когда треугольный импульс прикладывается из аккумуляции, все ловушки на границе раздела заполнены, и генерационный ток максимален. В случае, когда треугольный импульс прикладывается из глубокой инверсии, большая часть ловушек опустошена, и наблюдаемый генерационный ток меньше по величине. В случае же полевой генерации зона - зона туннельный ток не должен зависеть от исходного состояния зон полупроводника на границе раздела.

Заряд опустошаемых ловушек в данном случае определяет поведение поверхностного потенциала.

Общий заряд, перетекший за время прямой ветви импульса, дает величину плотности приповерхностных ловушек на границе раздела, близкую к наблюдаемой в других экспериментах $\sim 10^{11} \text{ см}^{-2}$ (см., напр., /3/). Электроны дают вклад в ток через структуру, а заряд опустошенных ловушек, по мере накопления, экранирует растущее внешнее поле и приводит поверхностный потенциал к квазиравновесному значению.

На обратном ходе импульса, по мере поступления основных носителей к границе раздела, опустошенные ловушки заполняются. В пользу этого говорит поведение амплитуды ВЧ составляющей на рис. 1б на обратном ходе треугольного импульса.

Таким образом, показано, что механизмом, ответственным за уменьшение нестационарного поверхностного потенциала в МДП-структурах на основе антимонида индия, изготовленных по указанной технологии, является туннельная перезарядка ловушек, локализованных вблизи границы раздела полупроводник - диэлектрик.

Поступила в редакцию
5 сентября 1978 г.

Л и т е р а т у р а

1. А. Ж. Стикл и др., ТИИЭР, 63, № 1, 79 (1975).
2. R. Poirier, J. Oliver, Appl. Phys. Lett., 15, N 11, 364 (1969).
3. R. Y. Hung, E. T. Jon, J. Appl. Phys., 41, N 5, 2185 (1970).