

## К ВОПРОСУ О ТОЧНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТОПОЛОГИИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ БАРЬЕРОВ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ СТРУКТУР МЕТОДОМ ТИЭЗ

С.Г. Черноок, А.В. Леонов

*Показано, что положение максимума тока, инжектируемого электронным зондом, при сканировании p-n структуры зависит от скорости перемещения зонда.*

Метод регистрации токов, инжектированных электронным зондом (ТИЭЗ), реализуемый в растровом электронном микроскопе, широко используется для обнаружения электрически активных областей полупроводниковых структур и материалов, в частности, для визуализации p-n переходов, определения их топологии, глубины залегания [1-3]. В случае, когда исследуемый энергетический барьер, например, p-n переход, перпендикулярен сканируемой поверхности, считается, что его положению соответствует максимум интенсивности сигнала ТИЭЗ [1]. Такой способ позволяет с хорошей точностью определить местоположение исследуемого барьера при условии малости размеров области генерации электронно-дырочных пар ( $r$ ) по сравнению с диффузионными длинами  $L_n$  и  $L_p$  неосновных носителей заряда.

При стационарных условиях (неподвижный электронный зонд) рекомбинация носителей заряда в пределах области их генерации приводит к снижению интенсивности максимума ТИЭЗ и его смещению относительно реального положения p-n перехода в область с большей  $L$  [4]. Размер этого смещения определяется соотношением между величинами  $L_n$ ,  $L_p$  и  $r$ . Поскольку радиус области генерации p-n пар связан с ускоряющим напряжением  $U$  электронов зонда соотношением  $r \sim U^{1/2}$  [4], при больших ускоряющих напряжениях, когда  $r \sim L_n$  или  $L_p$ , ошибка в определении положения p-n перехода может достигнуть нескольких мкм.

Смещение максимума ТИЭЗ может наблюдаться и при малых  $U$  в том случае, когда инжекция носителей осуществляется движущимся электронным зондом. Связано это с тем, что при движении зонда объем, из которого происходит сбор избыточных носителей разделяющим барьером, уже не ограничивается областью их генерации, поскольку рекомбинационные процессы протекают с конечной скоростью. В результате вдоль траектории зонда остается протяженная область ("хвост") с избыточной по сравнению с остальным объемом образца концентрацией p-n пар. Таким образом, при движении электронного зонда "эффективная" область генерации может существенно превосходить реальную и оказаться сравнимой по величине с  $L_n$  или  $L_p$ .

Размер "хвоста", помимо рекомбинационных параметров, определяется еще и скоростью  $v$  перемещения электронного зонда. В настоящей работе исследовано влияние  $v$  на положение максимума ТИЭЗ относительно энергетического барьера.

Объектом исследований служил образец n-GaAsP, в котором p-n переход был создан диффузией Zn. Глубина залегания p-n перехода по технологическим оценкам составляла 2-3 мкм. Измерения ТИЭЗ осуществлялись при различных скоростях линейного перемещения зонда по поверхности скола p-n структуры в направлении, перпендикулярном потенциальному барьеру.

На рис.1 приведены осциллограммы сигнала ТИЭЗ, полученные при различных направлениях сканирования и значениях  $v$ , равных  $1 \cdot 10^{-4}$ , 0,19 и 0,38 см/с. Из рис.1 следует, что при увеличении  $v$  действительно происходит смещение максимума ТИЭЗ относительно его положения при скорости  $v = 1 \cdot 10^{-4}$  см/с, причем абсолютная величина сдвига  $\Delta$  растет с увеличением  $v$  и зависит от направления движения зонда. Так, при движении из области p-типа проводимости в область n-типа значения  $\Delta$  составляют 0,4 и 0,7 мкм при скоростях соответственно 0,19 и 0,38 см/с. При сканировании в обратном

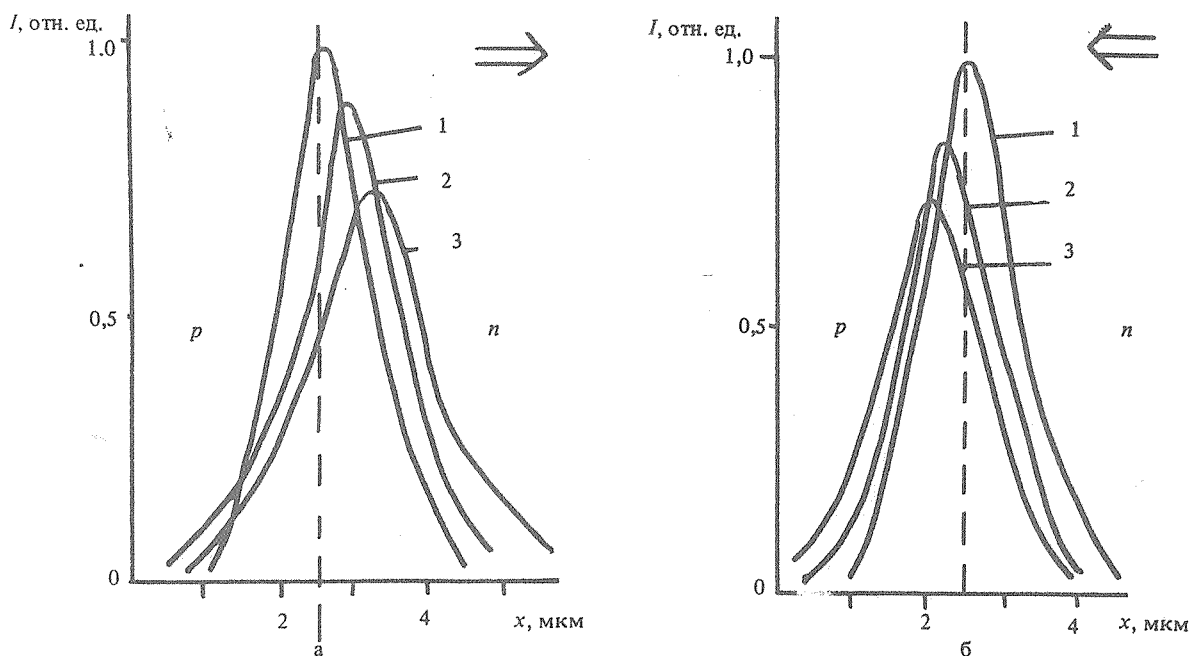


Рис.1. Кривые ТИЭЗ, полученные при скоростях сканирования  $v = 1 \cdot 10^{-4}$  см/с (1), 0,19 см/с (2), 0,38 см/с (3). Стрелками указано направление сканирования.

направлении при тех же скоростях значения  $\Delta$  оказались равными 0,3 и 0,5 мкм. Это связано с тем, что значения рекомбинационных констант различаются для областей *n*- и *p*-типа проводимости, и, следовательно, при одних и тех же значениях  $v$  для этих областей различны и размеры "эффективных" зон генерации.

Как следует из рисунка, при минимальной скорости  $v = 1 \cdot 10^{-4}$  см/с положение максимума сигнала ТИЭЗ не зависит от направления движения зонда, поскольку скорость его перемещения достаточно мала для образования сколько-нибудь заметных "хвостов". Это обстоятельство позволяет считать, что положение максимума ТИЭЗ в этом случае совпадает с истинной глубиной залегания потенциального барьера. По нашим данным (рис.1) эта величина составила 2,5 мкм, что хорошо коррелирует с указанной выше технологической оценкой.

Таким образом, полученные результаты позволяют сделать вывод о том, что при определении методом ТИЭЗ глубины залегания энергетических барьеров необходимо использовать наименьших скоростей перемещения электронного зонда, при которых положение максимума ТИЭЗ не зависит от направления сканирования. При этом критерием достоверности результатов может служить совпадение изображений, полученных при различных направлениях сканирования исследуемого образца.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Максимовский С.Н. и др. Краткие сообщения по физике ФИАН, № 2, 9 (1975).
2. Патрин А.А., Лукьянов А.Е., Бутылкина Н.А. Изв. АН СССР, сер. физ., 52, № 7 (1988).
3. Злобин В.А., Тимофеев В.В. Тезисы докладов VI Всесоюзного симпозиума по растровой электронной микроскопии и аналитическим методам исследования твердых тел (РЭМ-89). Звенигород, 1989.
4. Селезнева М.А., Филиппов С.С. Препринт № 60 Института прикладной математики АН СССР. М., 1975.

Поступила в редакцию 7 июля 1989 г.