

## ПОВЕРХНОСТНЫЕ ВОЛНЫ НА ГРАНИЦЕ СТАТИЧЕСКОГО ДОМЕНА

*М.С.Коган, Е.Г.Ландсберг, И.В.Чернышов.*

Обнаружено существование волн объемного заряда, образующего "стенку" статического домена рекомбинационного происхождения в образцах германия с медью. Эти волны представляют собой пространственные колебания слоя объемного заряда, распространяющиеся вдоль границы домена (поперек направления тока).

В полупроводнике с объемной отрицательной дифференциальной проводимостью (ОДП) однородное распределение поля оказывается неустойчивым и полупроводник переходит в новое, резко неоднородное состояние – образуются электрические домены, движущиеся или неподвижные. В литературе неоднократно отмечалось сходство между образованием доменов и фазовым переходом первого рода [1, 2] – в обоих случаях при некоторых критических условиях происходит скачкообразный переход в неоднородное состояние. Соответственно напрашивается аналогия между образцом с доменом и двухфазной системой: в кристалле образуются две области с резко различными свойствами, разделенные тонким пограничным слоем. Кристалл с доменом представляет собой существенно неравновесную систему, поэтому сходство его с двухфаз-

ной системой обычно считается чисто внешним. Однако приведенные ниже результаты показывают, что такая аналогия оказывается гораздо более глубокой.

Эксперименты проводились на образцах компенсированного германия с медью при 80К. В таких кристаллах наблюдаются все эффекты, связанные с появлением в первоначально однородном образце ОДП рекомбинационного происхождения; в частности, при неслишком большой интенсивности освещения в области собственной полосы поглощения образуются статические домены [3]. Распределение поля в образце имеет ступенчатый вид, а области сильного и слабого поля разделены тонким слоем объемного заряда ("стенка" домена). Толщина стенки домена по теоретическим [4] и экспериментальным [5] оценкам не превышает  $10^{-4}$  см. Отметим, что аналогия между образцом со статическим доменом и двухфазной системой фактически использовалась в работах [6] для расчета импеданса и спектра токовых шумов с помощью модели, учитывающей конечную амплитуду и инерционность колебаний стенки домена, толщина которой считалась бесконечно малой. В этих расчетах рассматривалась одномерная задача, а в соответствующих опытах также фактически осуществлялась одномерная конфигурация, поскольку измеряемый ток оказывался усредненным по сечению кристалла. В реальных образцах стенка домена — это поверхность, и трудно предполагать, что она колеблется, как единое целое, особенно при локальном возмущении этой поверхности.

В настоящей работе исследовались пространственные колебания стенки домена при ее локальном смещении, осуществлявшемся с помощью модулированного светового луча (лазер ЛГ-126,  $\lambda = 0,63$  мкм), сфокусированного на боковой грани образца вблизи ее края (рис. 1,а). Размер светового пятна составлял доли мм. Модуляция с глубиной  $\sim 80\%$  осуществлялась с помощью электрооптического модулятора МЛ-3.

Для наблюдения колебаний стенки домена использовался подвижный емкостной зонд, который можно было перемещать вдоль границы домена (поперек направления тока). Зонд представлял собой заостренную латунную пластинку (диаметр острия  $\sim 100$  мкм), прижатую к грани образца через слюдяную прокладку (рис. 1,а). Предварительно с помощью пары гальванических зондов (рис. 1,а) определялась область напряжений, при которых стенка оказывалась вблизи емкостного зонда.

Мы измеряли напряжение между емкостным зондом и торцом образца и разность фаз  $\Delta\psi$  между этим напряжением и опорным. В качестве опорного использовалось напряжение, с помощью которого модулировалась интенсивность светового пучка. При перемещении зонда поперек образца эта разность фаз менялась по-разному при различных значениях постоянного напряжения. Результаты измерений приведены на рис. 1,б. При напряжении 1200 В, когда стенка домена находится далеко от места расположения зонда,  $\Delta\psi$  практически на зависела от поперечной координаты  $y$  (кривая 1). При увеличении напряжения стенка домена приближается к зонду и  $\Delta\psi$  начинает зависеть от  $y$ . Эта зависимость сначала монотонна (кривая 2), а затем на ней появляются ясно выраженные осцилляции (кривая 3).

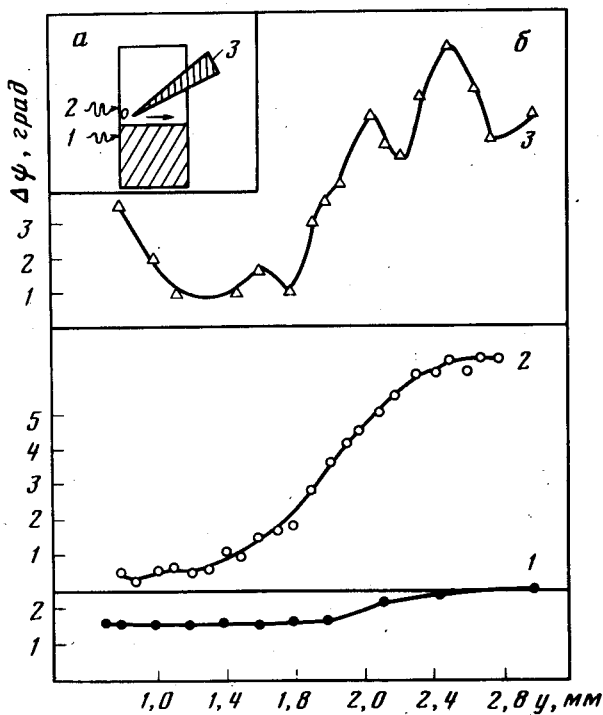


Рис. 1. Расположение зондов на образце: 1, 2 – гальванические зонды, 3 – емкостной зонд; б – зависимость фазы потенциала на емкостном зонде от поперечной координаты при различных значениях постоянного напряжения  $U$ .  $U$ , В: 1 – 1200, 2 – 1800, 3 – 2000;  $f = 34$  Гц

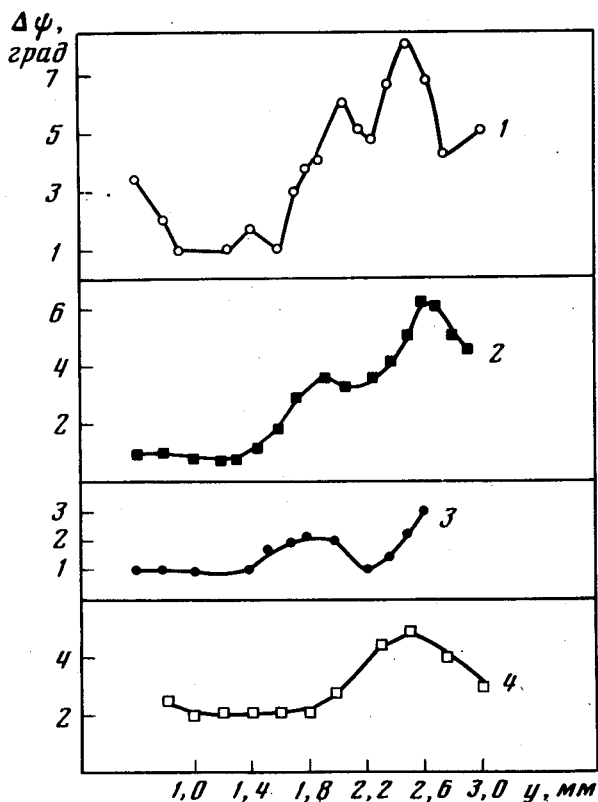


Рис. 2. Зависимость фазы потенциала на емкостном зонде от поперечной координаты при разных частотах  $f$  модуляции светового пучка:  $f$ , Гц: 1 – 34, 2 – 74, 3 – 134, 4 – 234;  $U = 2000$  В

Пространственные осцилляции фазы напряжения на зонде свидетельствуют о существовании волны потенциала, распространяющейся поперек направления постоянного тока. Действительно, представим напряжение на емкостном зонде в виде суммы двух сигналов

$$U = U \sin[\omega t + \psi(y)] = U_1 \sin \omega t + U_2 \sin[\omega t + \phi(y)]$$

первый из которых связан с перераспределением поля в образце при локальном его освещении, а второй соответствует волне потенциала. Тогда фаза напряжения на зонде  $\psi$  определяется выражением

$$\operatorname{tg} \psi = \frac{U_2 \sin \phi(y)}{U_1 + U_2 \cos \phi(y)}.$$

Отсюда видно, что фаза  $\psi$  при наличии волны должна быть осциллирующей функцией поперечной координаты  $y$ .

На рис. 2 показано поперечное распределение фазы потенциала на емкостном зонде при разных частотах модуляции интенсивности светового луча. С ростом частоты число осцилляций уменьшается. Это показывает, что наблюдаемые волны потенциала обладают обратным законом дисперсии, напоминающим закон дисперсии волн перезарядки ловушек [7]. Это кажется естественным, поскольку и в том, и в другом случае объемный заряд образуется, в основном, электронами, связанными на примесях.

Наблюдаемые волны связаны со стенкой домена. Об этом свидетельствуют данные рис. 1, б. Действительно, при изменении напряжения на 200 В, т. е. при удалении стенки от зонда примерно на 0,5 мм (эту оценку легко получить, учитывая, что поле в домене  $\sim 4$  кВ/см, а длина образца  $\sim 1$  см), осцилляции исчезают.

Волна объемного заряда, образующего стенку домена, может возникать либо за счет пространственного перемещения стенки, либо из-за периодического изменения ее толщины. Однако последнее маловероятно, так как при этом изменение толщины стенки должно быть сравнимым с размером зонда ( $\sim 100$  мкм). С другой стороны представление о пространственных колебаниях бесконечно тонкой стенки хорошо объясняет особенности импеданса и шумов таких образцов [6]. Поэтому мы считаем, что наблюдаемые волны обусловлены только пространственными перемещениями стенки домена, что очень напоминает, например, волны на поверхности жидкости.

Приведенные данные показывают, что образец со статическим доменом обнаруживает сходство с двухфазной системой не только в самом факте существования в кристалле двух областей, но и в свойствах границы раздела между ними.

Авторы благодарны С.Г.Калашникову и А.Я.Шульману за обсуждение результатов.

## Литература

- [1] В.К.Ридли, Т.В.Уаткинс. Proc. Phys. Soc., 78, 293, 1961.
- [2] В.Л.Бонч-Бруевич, И.П.Звягин, А.Г.Миронов. Доменная электрическая неустойчивость в полупроводниках. М., изд. Наука, 1972.
- [3] М.С.Каган, С.Г.Калашников, В.А.Кемарский, Е.Г.Ландсберг. ФТП, 5, 2041, 1971.
- [4] М.С.Каган, С.Г.Калашников, Н.Г.Жданова. Phys. Stat. Sol., 24, 551, 1967.
- [5] Н.Г.Жданова, М.В.Назаров, Н.Н.Седов. ФТП, 8, 2372, 1974.
- [6] Н.Г.Жданова, М.С.Каган, С.Г.Калашников. ФТП, 8, 1731, 1736, 1974; Н.Г.Жданова, М.С.Каган, А.Я.Шульман. ФТП, 9, 2317, 1975.
- [7] Н.Г.Жданова, М.С.Каган, Р.А.Сулис, Б.И.Фукс. ЖЭТФ, 74, 364, 1978.
-