

## ДИФфуЗИЯ ЗАРЯЖЕННЫХ НОСИТЕЛЕЙ ЧЕРЕЗ ФРОНТ УДАРНОЙ ВОЛНЫ В ВИСМУТЕ

*А.Г.Иванов, В.Н.Минеев, Е.З.Новицкий, Ю.В.Лисицын,  
Ю.Н.Тюлеев*

Известно, что прохождение фронта ударной волны (ФУВ) через диэлектрики вызывает их поляризацию и приводит к возникновению тока в короткозамкнутой цепи, одним из элементов которой является этот диэлектрик [1,2]. Подобные эффекты сопровождают и ударное сжатие полупроводников [3]. Представляют интерес исследования электрических процессов на ФУВ и в металлах.

Существует, по крайней мере, две причины, вследствие которых должна возникать ЭДС на ФУВ в металлах.

1. Различие в концентрациях высокоподвижных носителей электрического тока перед и за ФУВ за счет сжатия вещества приведет к диффузии этих носителей и вызовет ЭДС из-за нарушения электронейтральности вещества за и перед ФУВ\*.

2. Скачкообразное изменение скорости вещества на ФУВ вызовет нарушение электронейтральности вещества за счет проскока носителей по инерции, вследствие чего возникнет ЭДС, препятствующая такому про-

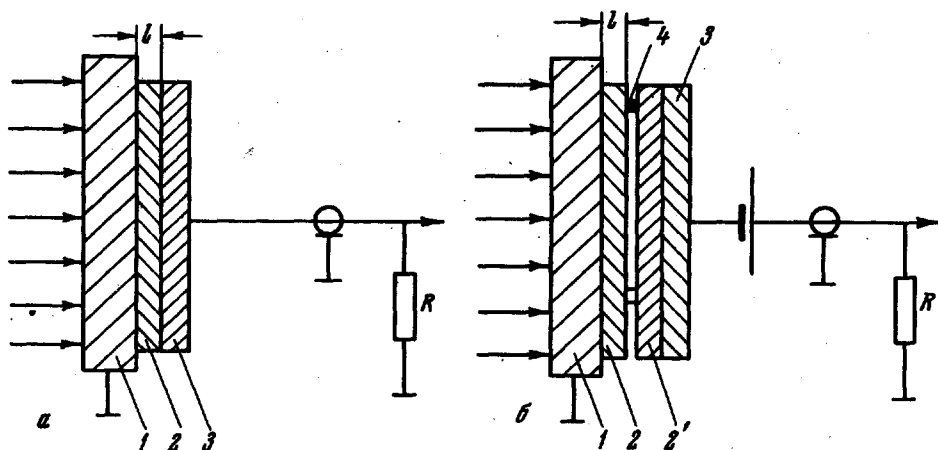


Рис.1. Схемы постановки опытов: 1 – алюминиевый экран толщиной 1 см, 2, 2' – образцы висмута, 3 – медный электрод, 4 – изолятор (фторопласт) толщиной 0,05 см, R (100 ом) – входное сопротивление осциллографа ОК-33. Стрелками показано направление распространения ФУВ

скоку (явление, аналогичное эффекту Манделъштама - Папалекси). Очевидно, что если в первом случае знак ЭДС перед ФУВ совпадает со знаком носителей, то во втором – противоположен им.

Как показали эксперименты, одним из металлов, где указанный эффект достаточно велик, является висмут. Ударные волны в образцах из технического висмута создавались с помощью взрывных устройств, описанных в [4]. Схемы постановки опытов приведены на рис.1. Толщина образцов составляла  $l = 0,17 - 0,97$  см, диаметр – 2 см. Параметры вещества за ФУВ (давление 260 кбар, температура 1800°К, сжатие 1,4) рассчитывались по известному состоянию экрана [4] и уравнению состояния висмута, приведенному в [5].

Типичная осциллограмма записи регистрируемого сигнала в опыте, схема постановки которого показана на рис.1, а, представлена на рис.2, а. В момент  $t_1$  выхода ФУВ на образец на сопротивлении R возникал скачок напряжения. При выходе ФУВ из образца ( $t_2$ ) напряжение резко спадало\*\*. Длительность записи напряжения как функции времени  $U(t)$  совпадает с расчетным временем движения ФУВ по образцу:

$$t_2 - t_1 = l / D \quad (D = 3,05 \text{ км/мксек} - \text{ скорость ФУВ}).$$

Характерным во всех полученных записях  $U(t)$  является заметный рост напряжения за  $0,3-0,5$  мксек до выхода ФУВ из образца, независимо от его толщины. В схеме рис.1,а ЭДС, возникающая на ФУВ, практически полностью падает на  $R$ . Поэтому рост  $U(t)$  при подходе ФУВ к электроду 3 можно объяснить проникновением заряда-"предвестника"

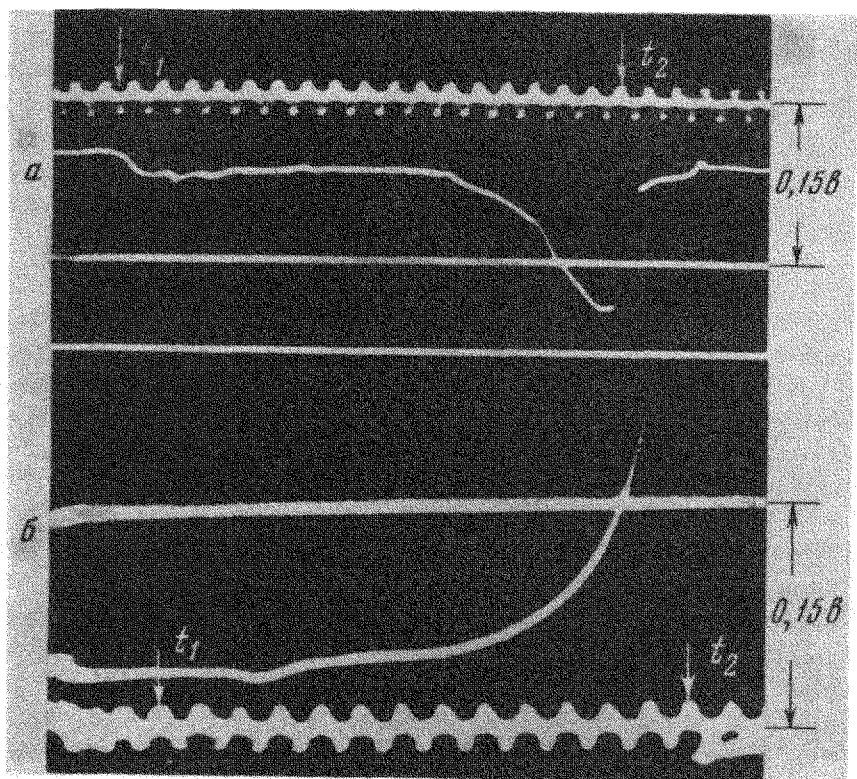


Рис.2

на  $0,1-0,15$  см в невозмущенное вещество перед ФУВ. Аналогичного явления в твердых диэлектриках и полупроводниках не наблюдалось, но согласно [6], имело место в разреженном аргоне, где глубина проникновения "предвестника" измерялась метрами.

Цепь рис.1,б с внешним источником ЭДС является емкостным датчиком для измерения скорости свободной поверхности [7]. В отсутствии "предвестника" в цепи такого датчика в момент выхода ФУВ на свободную поверхность возникает бросок тока на конечную величину, пропорциональную массовой скорости за ФУВ. При наличии "предвестника" перед ФУВ в зазор между образцами 2 и 2' будут попадать электрические носители, что даст постепенный рост тока в этой цепи до выхода ФУВ на свободную поверхность образца 2.

Как показали прямые эксперименты, проведенные по схеме 1,б при  $E = 700$  в (напряженность поля в зазоре  $14$  кв/см), характер тока в цепи подтверждает существование "предвестника". Типичная осциллограмма при направлении поля в зазоре от 2 к 2', приведена на рис.2,б. При изменении знака поля меняется только полярность регистрируемого сигнала.

Так как напряженность поля в зазоре составляла примерно половину пробивного значения для воздуха при нормальных условиях, то в каждый момент в цепи протекал ток насыщения, определяемый числом носителей от "предвестника". Это позволило оценить величину заряда  $\sigma$ , диффундирующего со свободной поверхности в зазор при подходе ФУВ:  $\sigma \sim 10^{-10} \text{ к/см}^2$  (или  $10^9$  носителей на  $1 \text{ см}^2$ ).

Тот факт, что в опытах, схема постановки которых показана на рис. 1, регистрируемый сигнал имеет отрицательную полярность, указывает на то, что впереди ФУВ в висмуте движутся отрицательные носители, по видимому, электроны.

Поступило в редакцию  
2 января 1968 г.

### Литература

- [1] R.Y.Eichelberger, G.E.Hanver. В сб. Les Ondes de Detonation (Editions du Centre National de la Recherche Scientifique), Paris, 1962, pp.363-381.
- [2] А.Г.Иванов, Е.З.Новицкий, В.Н.Минеев, Ю.В.Лисицын, Ю.Н.Тюняев, Г.И.Безруков. ЖЭТФ, 53, 41, 1967.
- [3] В.Н.Минеев, А.Г.Иванов, Е.З.Новицкий, Ю.Н.Тюняев, Ю.В.Лисицын. Письма ЖЭТФ, 5, 296, 1967.
- [4] Л.В.Альтшулер, М.Н.Павловский, Л.В.Кулешова, Г.В.Симаков. ФТТ, 5, 279, 1963.
- [5] R.G.McQueen, S.P.Marsh. J.Appl. Phys., 31, 1253, 1960.
- [6] H.D.Weymann. Phys. Fluids, 3, 545, 1960.
- [7] А.Г.Иванов, С.А.Новиков, В.А.Синицын. ФТТ, 5, 269, 1963.

---

\* Переносом ионов металла пренебрежем ввиду малой подвижности их в сравнении с подвижностью носителей тока.

\*\* Моменты  $t_1$  и  $t_2$  определялись по реперному сигналу.