

ЯВЛЕНИЕ СЛУЧАЙНОГО ПЕРЕКЛЮЧЕНИЯ В АМОΡФНОМ АНТИМОНИДЕ ГАЛЛИЯ

*С.В.Демисев, Ю.В.Косичкин, В.И.Ларчев, А.Г.Ляпин,
С.В.Попова, Г.Г.Скроцкая, Н.Е.Случанко*

Обнаружено, что в объемных образцах аморфного GaSb импульсы сильного тока приводят к переходам между состояниями с различными значениями электропроводности, причем процесс переключения носит стохастический характер. Стохастичность может быть связана с особенностями случайного потенциала и взаимодействием с фононами.

1. В физике неупорядоченных систем случайный потенциал, задающий микроскопическую случайную динамику электронов и ионов, на макроуровне проявляется, как правило, регулярным образом, так как вклад разупорядочения находится в результате соответствующей

процедуры усреднения. Так прыжковая проводимость, обусловленная случайными электронными переходами, определяется функцией плотности состояний в окрестности уровня Ферми, а не конкретным видом случайного потенциала. В то же время, в принципе, нельзя исключить ситуации, когда макроскопическая характеристика неупорядоченной системы будет зависеть от внешнего воздействия нерегулярным образом. С этой точки зрения наибольший интерес представляют аморфные твердые тела, у которых в результате процессов возбуждения и релаксации метастабильной некристаллической матрицы может происходить перегруппировка атомов, обуславливающая случайное поведение макроскопических характеристик. Однако в данном случае вопрос о возможности реализации случайной динамики макроскопической величины, насколько нам известно, практически не изучен.

2. Нами было исследовано влияние импульсов сильного тока на электропроводность объемных образцов аморфного антимонида галлия, полученных методом закалки расплава в условиях высокого давления ¹. Изучались образцы со сравнительно низкими значениями удельного сопротивления $\rho \sim 10^{-2} - 10^{-1}$ Ом·см, представляющие собой смесь аморфной и кристаллической фаз ². Относительная концентрация аморфной фазы $x = 0,2 - 0,3$ соответствовала случаю, когда волновые функции электронов еще остаются делокализованными ². Измерение вольт-амперных характеристик импульсным методом показало, что для длительностей импульса $t_{и} = 10 - 1000$ мкс начиная с токов $j = (1 - 6) \cdot 10^2$ А/см² на омическом участке возникает область, где напряжение на образце зависит от внешних параметров нерегулярным образом. Чтобы определить причину такого поведения был спланирован опыт, в котором через образец с равновесной температурой T_0 стабилизированной с точностью 10^{-3} пропускались импульсы тока, а после каждого импульса по достижении T_0 измерялось значение ρ при $j \sim 0,3$ А/см². Состояние образца характеризовалось точкой в координатах $\rho - n$, где n — порядковый номер импульса (см. вставку на рис. 1). В ходе опыта варьировался параметр $t_{и}$ при фиксированной амплитуде j_0 .

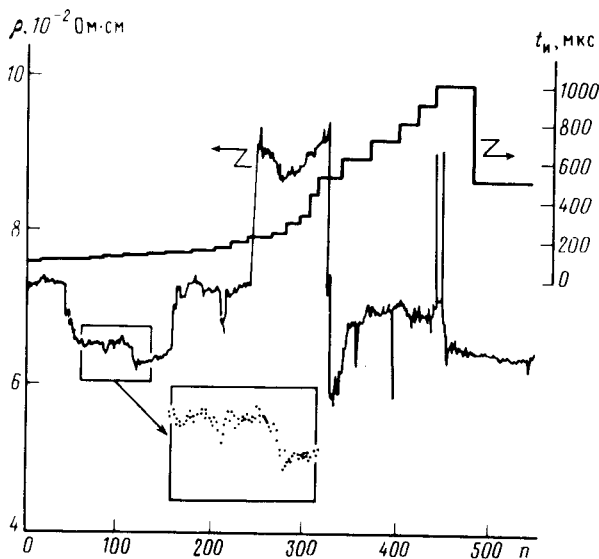


Рис. 1

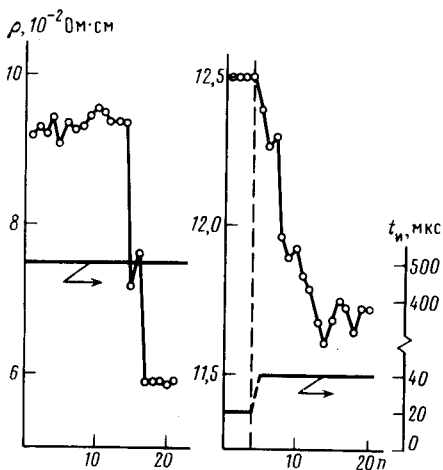


Рис. 2

Рис. 1. Кривая $\rho(n)$ для $T_0 = 273$ К, $j_0 = 3 \cdot 10^2$ А/см². Масштаб на вставке увеличен в два раза по обеим осям

Рис. 2. Переключение у аморфного GaSb при импульсном воздействии

3. Последовательно соединяя точки получим линию $\rho(n)$ (рис. 1), представляющую реакцию системы на внешнее воздействие. При этом даже монотонное изменение $t_{и}$ приводит

к скачкам $\rho(n)$, разделяющим области, где ρ изменяется сравнительно плавно. Отметим, что экспериментальная погрешность равна $\Delta\rho \lesssim 4 \cdot 10^{-3}$ и не превышает размера точки на вставке (рис. 1). В расположении скачков отсутствует прямая связь с изменением длительности импульса, возможен скачок как при $t_n(n) = \text{const}$, так и в момент изменения t_n (рис. 2). Случайный характер процесса подтверждает сложный зигзагообразный вид траектории $\rho(n)$ (рис. 2), меняющийся от скачка к скачку нерегулярным образом.

Резкое изменение ρ можно наблюдать при различных t_n , причем бóльшим t_n соответствует и бóльшее изменение ρ , например для $n > 450$ (рис. 1) уменьшение t_n от 900 – 1000 до 500 мкс привело к уменьшению флуктуаций ρ . Для $T_0 = \text{const}$ величина ρ в отсутствие импульсов не зависит от времени, а при резком изменении T_0 сразу после подачи импульса можно наблюдать скачки, аналогичные представленным на рис. 1, 2.

Рассмотрим функцию распределения $\rho - N(\rho)$, главный вклад в которую дают области плавного изменения $\rho(n)$ (рис. 3). Видно, что $N(\rho)$ состоит из ряда максимумов, отвечающих наиболее вероятным состояниям, между которыми происходят переходы. Подчеркнем что максимальное и минимальное значения ρ отличаются в 5 раз (рис. 3). Эта величина несколько превышает специально измеренное нами изменение ρ при изотермическом отжиге аморфной фазы от $x = 0,2 - 0,3$ до $x = 0$. Однако в отличие от необратимой трансформации при отжиге, изменения ρ при импульсном возбуждении обратимы в статистическом смысле, поскольку в ходе опыта $\rho(n)$ образец после ряда переходов может вернуться в состояние с тем же значением ρ . Отметим, также, что исходное значение ρ (рис. 3) попадает в область главного максимума $N(\rho)$.

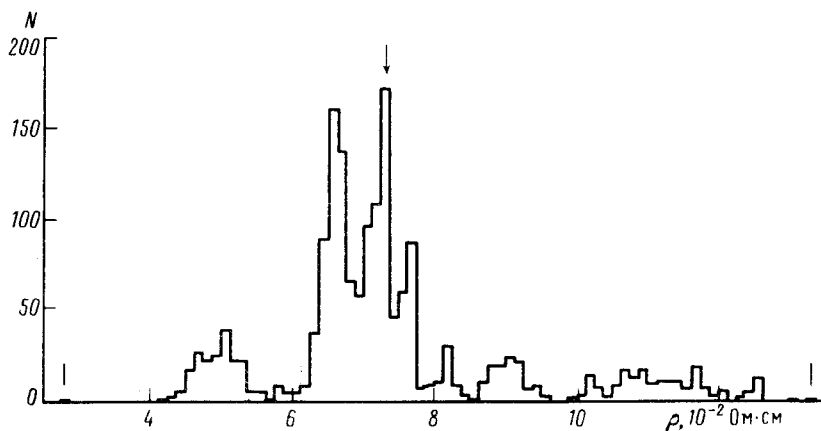


Рис. 3. Функция распределения $N(\rho)$, стрелка обозначает исходное значение ρ до начала опыта, вертикальные черточки — максимальное и минимальное значение ρ . Величина $N(\rho)$ на каждом интервале разбиения дает число значений ρ , попавших в этот интервал в ходе опыта $\rho(n)$

4. Таким образом, наблюдаемая в α -GaSb нестабильность вольт-амперной характеристики связана с наличием ряда относительно устойчивых состояний, отвечающих различным значениям ρ , а внешнее воздействие (импульсы тока или изменение теплового режима) инициирует случайное переключение между этими состояниями. Для объяснения природы макроскопического случайного процесса необходимо учесть, что в наших экспериментах повышение температуры образца во время импульса составляет по крайней мере несколько десятков градусов относительно T_0 . Поскольку образец реально неоднороден (смесь аморфной и кристаллической фаз²), то разогрев разупорядоченных областей с меньшей электропроводностью будет еще больше и, в конечном счете, взаимодействие электронов с решеткой может привести к перегруппировке атомов в неупорядоченной матрице, ана-

логичной фотоструктурным изменениям в халькогенидных стеклах, для которых также характерна сложная динамика этого процесса ³. Если предположить, что наиболее вероятные значения ρ (рис. 3) соответствуют нескольким наиболее устойчивым атомным конфигурациям, дающим минимумы поверхности потенциальной энергии в конфигурационном пространстве $U(\mathbf{q})$, то случайная динамика $\rho(n)$ отражает как сложную структуру $U(\mathbf{q})$, так и взаимодействие с фононами, а при возбуждении происходит переход из одной конфигурации в другую: $\mathbf{q}_n \rightarrow \mathbf{q}_{n+1}$. Такие переходы могут влиять на величину ρ например через плотность состояний, как это имеет место в эффекте Стеблера – Вронского ⁴. Нельзя исключить, что разработка соответствующих теоретических представлений позволит использовать наблюдаемое явление для изучения структуры поверхности $U(\mathbf{q})$.

В заключение пользуемся случаем выразить искреннюю признательность Е.В.Курмышеву за полезные дискуссии.

Литература

1. Ларчев В.И., Мельник Н.Н., Попова С.В., Скромная Г.Г., Таленский О.Н. Кратк. сообщ. физ., 1985, № 1, с. 7.
2. Александрова М.М., Демишев С.В., Косичкин Ю.В., Ларчев В.И., Попова С.В., Скромная Г.Г. Письма в ЖЭТФ, 1986, 43, 182.
3. Hajto J., Janossy J., Firth A. Phil. Mag. B, 1983, 48, 311.
4. Staebler D.L., Wronski C.R. Appl. Phys. Lett., 1977, 31, 292.

Институт общей физики
Академии наук СССР

Поступила в редакцию
23 апреля 1987 г.