

КОЛЕБАНИЯ ТОКА В АМОРФНЫХ ПОЛУПРОВОДНИКАХ

• В.И.Залива, В.П.Зазаров

В настоящее время интенсивно развиваются исследования электрофизических свойств аморфных веществ. В значительной мере это стимулировалось открытием эффекта переключения в аморфных полупроводниках [1]. В настоящей работе приводятся некоторые результаты исследования периодических колебаний тока, наблюдавшихся при определенных условиях наряду с эффектом переключения в аморфных халькогенидных полупроводниках.

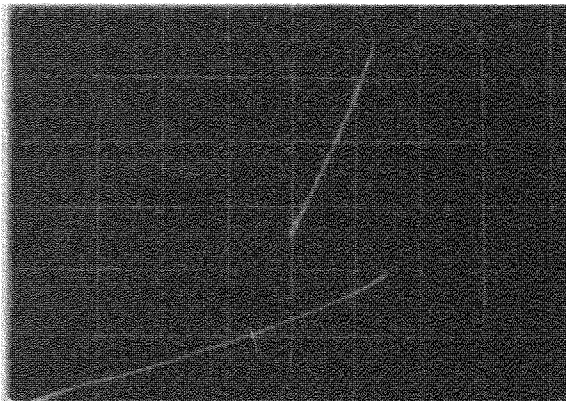


Рис.1. Вольт-амперная характеристика: масштаб по вертикали – 0,7 мА/дел, по горизонтали – 0,18 в/дел

Объектом исследования были аморфные пленки, напыленные из халькогенидного состава (в ат.%) $\text{Ge}_{10}\text{Si}_{12}\text{As}_{30}\text{Te}_{48}$, а также из монокристаллов GeTe. Пленки напылялись термически на неподогреваемые стеклянные или ситалловые подложки в вакууме 10^{-4} мм рт. ст. и имели толщину порядка 10^{-5} см. Электронномикроскопические и электроннографические исследования показали, что пленки были аморфными и однородными, без включений других фаз. Золотые или угольные электроды напылялись на исследуемые пленки с зазором 0,1–0,5 мкм.

В качестве одного из контактов применялся также прижимной графитовый электрод; в этом случае пленки напылялись на слой золота, который служил вторым электродом.

Образцы включались в цепь источника пилообразного напряжения или генератора прямоугольных импульсов между регулируемым балластным сопротивлением R_B величиной до $5 \cdot 10^4$ ом и небольшим (18 – 200 ом) нагрузочным сопротивлением, по падению напряжения на котором определялся ток в цепи.

Вольт-амперные характеристики (ВАХ) исследуемых материалов снимались при подаче в схему линейно нарастающего пилообразного напряжения частотой от 10 до 10^5 гц положительной или отрицательной полярности. На рис. 1 приведена ВАХ аморфной пленки $Ge_{10}Si_{12}As_{30}Te_{48}$ в первом квадранте координатной плоскости. Как видно из рисунка, ВАХ имеет выраженную S-образную форму с участком дифференциальной отрицательной проводимости (ДОП). Нижняя точка перегиба (начало области ДОП) соответствует напряженности электрического поля в веществе порядка 10^5 в.см⁻¹. Анализ вольт-амперных характеристик этого вещества показал, что зависимость тока от напряжения для их ветвей, лежащих как ниже участка ДОП, так и выше его, подчиняется степенному закону с показателем степени 3/2 для нижней ветви и 3 – для верхней. Форма ВАХ практически не зависела от материала и конструкции электродов. Характеристики, снятые на положительном и отрицательном напряжениях, были симметричны относительно начала координат. Их симметрия сохранялась даже в том случае, когда контакты были весьма несимметричны (плоский золотой и точечный графитовый электроды). В диапазоне частот пилообразного напряжения 10 – 10^5 гц форма ВАХ изменялась незначительно. Наличие на них участка ДОП позволило предположить возможность возникновения спонтанных колебаний тока в цепи такого образца. Такие колебания тока действительно наблюдались при питании схемы прямоугольными импульсами напряжения длительностью 10^{-5} – 10^{-6} сек с частотой 10 – 10^4 гц. Они возникали в случае, когда напряжение на образце превышало некоторую критическую величину, соответствующую нижней точке перегиба ВАХ. Колебания обычно имели правильную периодичность; их форма резко отличалась от синусоидальной.

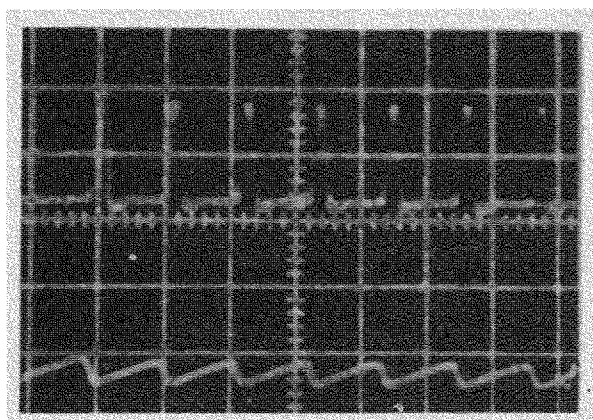


Рис.2. Оциллограмма тока через образец (вверху – 10 ма/дел) и напряжения на нем (внизу – 1 в/дел) во время колебаний. Развертка 1 мксек/дел

На рис. 2 представлена оциллограмма напряжения на образце $Ge_{10}Si_{12}As_{30}Te_{48}$ и тока через него во время таких колебаний. Частота и форма колебаний зависят от напряжения на образце V_n (а также, в некоторой степени, от R_B), увеличиваясь с ростом V_n . Частота колебаний могла изменяться за счет этих

факторов от $5 \cdot 10^5$ до $5 \cdot 10^7$ Ω , причем их амплитуда оставалась практически постоянной. Полярность приложенного напряжения, материал и конструкция электродов, а также частота повторения питающих схему импульсов практически не влияли на характер колебаний. Подобные колебания наблюдались также в аморфных пленках GeTe при аналогичных условиях.

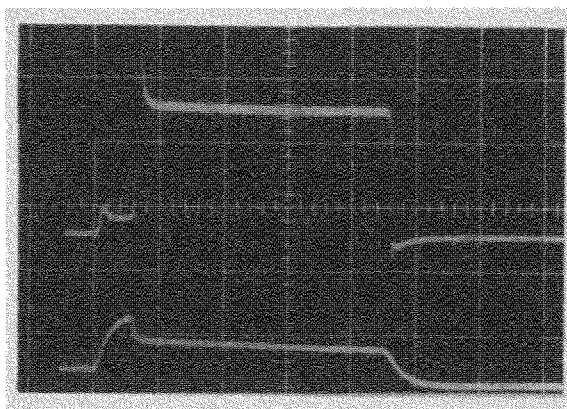


Рис.3. То же, что на рис.2, для режима переключения. Развертка 2 мксек/дел

При повышении V_n выше некоторой определенной для каждого образца, величины, колебания срывались. Интервал напряжений, при которых они имели место, уменьшался с понижением R_δ . При уменьшении R_δ ниже некоторой величины порядка $10^3 - 10^4$ Ω , колебания не возникали ни при каких V_n . После срыва колебаний (путем повышения V_n или уменьшения R_δ) образец работал в режиме переключения (рис. 3). При этом время задержки переключения (τ_3) соответствовало периоду предшествовавших колебаний, а амплитуда переключения — амплитуде последних. Зависимость τ_3 от V_n качественно совпадала с зависимостью периода колебаний от V_n . Время включения и выключения тока были равны минимальному времени нарастания и спада токового импульса, наблюдавшегося на том же образце в режиме автоколебаний. Отмеченное выше соответствие целого ряда параметров, характеризующих режимы колебаний тока и переключения, а также возможность перехода этих режимов друг в друга при изменении величины V_n или R_δ является весьма характерным. Это соответствие дает основание рассматривать оба эти явления как различные проявления в исследуемых материалах неустойчивости тока, обусловленной наличием участка ДОП на их ВАХ. Случай автоколебаний является, с такой точки зрения, осциллирующим спонтанным переключением в состоянии неустойчивого равновесия. S-образная форма ВАХ с участком ДОП указывает на возможность возникновения в таких материалах электрической неустойчивости, сопровождающейся нарушением однородности распределения тока по сечению образца и формированием "шнуров тока" [2], что приводит к увеличению проводимости образца — переключению [1]. В случае, когда сопротивление внешней цепи (R_δ) настолько велико, что ток после переключения оказывается недостаточным для поддержания высокопроводящего состояния, последнее нарушается. Через определенное время, зависящее от электрических параметров полупроводника, а также V_n и R_δ , проводящее состояние возникает снова и цикл обратимых переключений таким образом периодически повторяется. От чисто релаксационных колебаний [3], обусловленных наличием двух дискрет-

ных значений сопротивления образца и напряжений переключения между ними, рассмотренные колебания отличаются тем, что их временные параметры определяются кинетикой электронных процессов в образце, а не реактивными параметрами пассивных элементов схемы.

Поступила в редакцию
25 декабря 1970 г.

Литература

- [1] S.R.Ovshinsky. Phys. Rev. Lett., 21, 1450, 1968.
 - [2] B.K.Ridley. Proc. Phys. Soc., 81, 966, 1963.
 - [3] А.А.Андронов, А.А.Витт, С.Э.Хайкин. Теория колебаний, М., Физматгиз, 1959.
-