

ЛАВИНООБРАЗНЫЕ ПРОЦЕССЫ В СПЛАВАХ $Pb_{1-x}Sn_xTe(In)$, ИНДУЦИРОВАННЫЕ СИЛЬНЫМ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ПОЛЕМ

*Л. А. Акимов, Н. Б. Брйндт, В. И. Стафеев,
В. Н. Никифоров, О. Б. Яценко*

Обнаружено, что в диэлектрическом состоянии сплавов $Pb_{1-x}Sn_xTe(In)$ при гелиевых температурах через некоторое время t_3 после включения сильного электрического поля происходит лавинообразный пробой, переводящий сплав в новое стационарное состояние с падающей вольт-амперной характеристикой. Время задержки t_3 зависит от величины электрического поля и может достигать ~ 1 часа.

1. В настоящей работе исследованы вольт-амперные характеристики (ВАХ) монокристаллических сплавов $Pb_{0,75}Sn_{0,25}Te$ легированных ($\sim 0,5$ ат.%) In в статических и импульсных электрических полях до 200 В/см в диапазоне температур $4,2 - 40$ К. Выбранный состав соот-

ветствует диэлектрическому состоянию сплавов с термической энергией активации $\epsilon_A^T \approx 20$ мэВ и высоким удельным сопротивлением $\rho \sim \sim 10^6$ Ом·см при $T = 4,2$ К [1].

Измерения проведены в охлаждаемой гелием герметичной металлической камере, практически полностью экранирующей образец от внешних излучений. В эксперименте была предусмотрена возможность ИК подсветки образцов с помощью нагреваемого угольного сопротивления, расположенного в той же камере. При измерениях в статических полях образец последовательно включался в цепь источника питания (ИП) и сопротивления нагрузки (R_H). ИП представлял собой электронную систему, быстро (в течение ~ 1 мсек) переключающуюся с режима постоянного напряжения на режим постоянного тока при уменьшении величины полного сопротивления цепи ниже заданного предела. Токковые и потенциальные контакты к образцам наносились с помощью сплава $\text{In} + 1\% \text{Au} + 4\% \text{Ag}$.

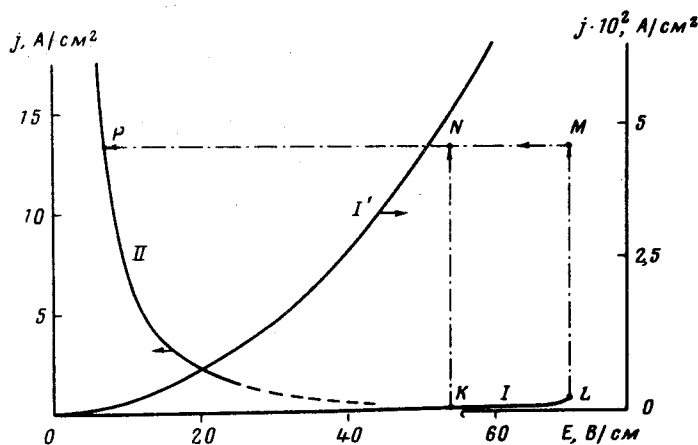


Рис.1. Две ветви статической ВАХ сплава $\text{Pb}_{0,75}\text{Sn}_{0,25}\text{Te}$ (In) (см. текст)

2. Исследования в статических электрических полях позволили обнаружить новую падающую ветвь ВАХ сплавов $\text{Pb}_{1-x}\text{Sn}_x\text{Te}$ (In). Типичная ВАХ сплава $\text{Pb}_{0,75}\text{Sn}_{0,25}\text{Te}$ (In) изображена на рис.1 (размеры образца $5 \times 0,8 \times 0,8$ мм³). При первоначальной температуре образца (и камеры термостата) $T_H = 4,2$ К зависимость плотности тока j от E при $E \gtrsim 0,2$ В/см сильно отклоняется от линейной (кривая I, I' — та же кривая в увеличенном масштабе). С дальнейшим ростом E в поле $E = E_K = 70$ В/см, зависящем в некоторых пределах от скорости dE/dt ввода поля (на рис. 1 $dE/dt = 1$ В/см·сек) в цепи происходит лавинообразное нарастание тока (траектория LM , $R_H = 0$). Если при этом поддерживать величину E постоянной, кристалл разогревается сильным то-

ком ($j > 100 \text{ A/cm}^2$) и разрушается (в точке L температура образца $\sim 5 \text{ K}$). В режиме переключения ИП (ограничения тока на уровне MNP , рис.1) напряжение на образце резко уменьшается и система переходит в новое стационарное во времени состояние, характеризующееся непрерывной падающей ВАХ (ветвь II). В условиях эксперимента при больших $j \sim 15 \text{ A/cm}^2$ сплав разогревается до $\sim 30 \text{ K}$. В области слабых токов (ветвь II, пунктир) ВАХ является неустойчивой при любых режимах работы ИП и при любом R_H : при $E < E_K$ происходит срыв ВАХ с ветви II на ветвь I. (

Вывести систему на ветвь II и достаточно сильных $30 - 60 \text{ В/см}$, но меньших чем E_K полях можно также кратковременным ($\sim 30 \text{ сек}$) разогревом образца тепловым импульсом с амплитудой $T \gtrsim 15 \text{ K}$ или импульсом ИК подсветки, создаваемой угольным сопротивлением с температурой $T^* \gtrsim 20 \text{ K}$, находящимся на расстоянии 100 мм от образца (траектория KNP , $R_H = 0$). (

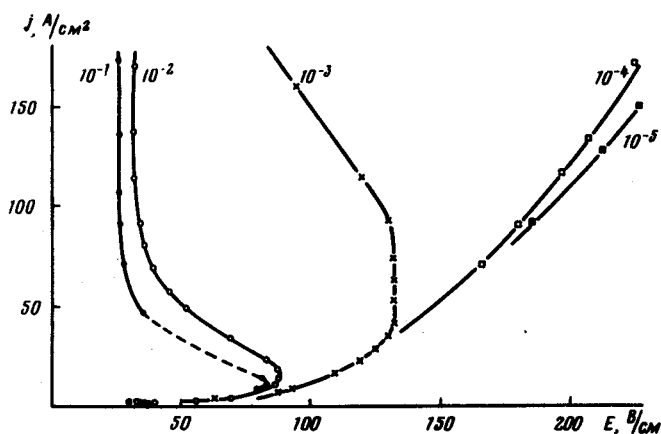


Рис.2. Семейство ВАХ сплава $Pb_{0,75}Sd_{0,25}Te (In)$ в импульсном режиме при $T_H = 4,2 \text{ K}$ (цифры у кривых — длительность измерительных импульсов в сек)

Зависимости холловской разности потенциалов от магнитного поля на ветви II ВАХ являются нелинейными. Коэффициент Холла R сильно зависит как от j , так и от H . Величина $1/eRc$, измеренная в слабых полях $H \lesssim 1 \text{ кЭ}$ изменяется в пределах $2 \cdot 10^{13} - 3 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$ при изменении j от 2 до 20 A/cm^2 . С ростом H в интервале $1 \lesssim H \lesssim 60 \text{ кЭ}$ при любом j коэффициент Холла уменьшается в 5 - 10 раз.

Измерения, проведенные на образцах с несколькими потенциальными контактами показывают, что распределение поля E на ветви II является однородным по длине образца, что не исключает образования в нем токового шнура. С повышением температуры термостата с образцом в пределах $15 \lesssim T_H \lesssim 40 \text{ K}$ ВАХ становятся непрерывными S-образными.

3. Для изучения динамики пробойных явлений были проведены измерения ВАХ в импульсных электрических полях. Типичное семейство ВАХ для сплава $\text{Pb}_{0,75}\text{Sn}_{0,25}\text{Te}$ (In) представлено на рис.2 (размеры образца $2,5 \times 0,2 \times 0,3$ мм³). Длительность $t_{\text{и}}$ импульсов изменялась от 10 мксек до 10 сек. Значения E и j снимались на спаде измерительных импульсов. Как видно из приведенных данных, время пробоя $t_{\text{п}}$ составляет 1 – 5 мсек. При $t_{\text{и}} \gg 1$ сек ВАХ близка к статической. Установлено, что процесс пробоя происходит через некоторое время t_3 после

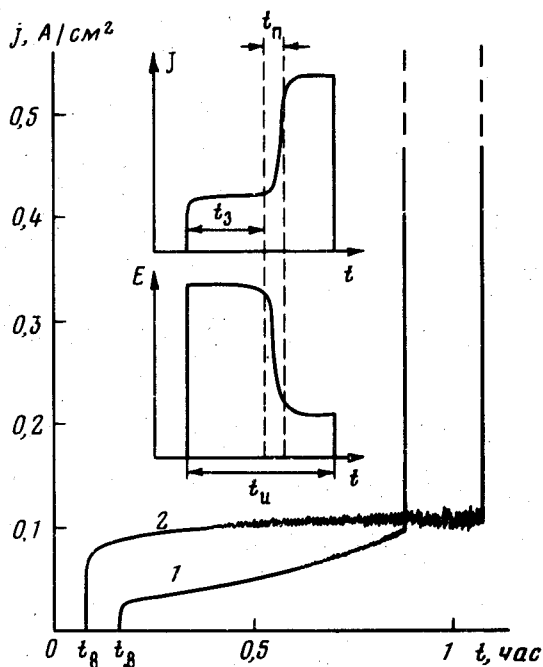


Рис.3: Зависимость тока через образец от времени для сплавов $\text{Pb}_{0,75}\text{Sn}_{0,25}\text{Te} + 0,5 \text{ ат}\% \text{ In}$ (1) и $\text{Pb}_{0,80}\text{Sn}_{0,20}\text{Te}$ с высоким содержанием In (2) в присутствии сильного электрического поля (см. текст). На вставке – схематическая форма измерительных импульсов тока и напряжения при построении импульсных ВАХ

включения поля (типичная форма импульсов тока и напряжения схематически изображена на вставке к рис.3). Время t_3 сильно зависит от величины поля и может достигать ~ 1 часа (при $t_3 \gg 10$ сек для измерений использовались статические поля). Процесс задержанного пробоя иллюстрирует рис.3, где изображены зависимости плотности тока через образец от времени для сплава $\text{Pb}_{0,75}\text{Sn}_{0,25}\text{Te}$ (In) при $T_{\text{H}} = 4,2$ К (кривая 1, поле $E = 60$ В/см включается в момент $t_{\text{в}}$). После включения поля ток, слабо флюктуируя, медленно возрастает во времени вплоть до момента пробоя. Величина t_3 падает от ~ 1 часа до ~ 200 мсек при увеличении E от 60 до 70 В/см (приблизительно линейно в масштабе $\ln t_3 - E$).

4. Установлено, что в диэлектрическом состоянии сплавов $\text{Pb}_{1-x}\text{Sn}_x\text{Te}$ легированных ($\sim 0,5$ ат.%) Al ($x = 0,20$), Cd ($x = 0,20$) и Ga ($s = 0$) и сплавах $\text{Pb}_{1-x}\text{Sn}_x\text{Te}$ (In) ($0,20 \lesssim x \lesssim 0,23$) с высоким содержанием In ($\gg 1$ ат.%) в сильных электрических полях также возможны переходы в состояние с падающей ВАХ, характеризуемой приблизительно теми же значениями произведения $jE \approx 40 - 60$ Вт/см³ при размерах

образцов $5 \times 0,8 \times 0,8$ мм³. Кривая 2 на рис.3 иллюстрирует процесс задержанного пробоя в диэлектрическом состоянии сплава $Pb_{0,80}Sn_{0,20}Te$ с высоким содержанием In при $E = 70$ В/см, $T_H = 4,2$ К. В исследованных сплавах $Pb_{1-x}Sn_xTe$, легированных Al и Cd явление задержанного пробоя не наблюдается.

Московский государственный университет
им. М.В.Ломоносова

Поступила в редакцию
11 июня 1980 г.

Литература

- [1] Б.А.Акимов, Л.И.Рябова, С.М.Чудинов, О.Б.Яценко. ФТП, 13, 752, 1979.
-