

ЗАМОРОЖЕННАЯ ПРОВОДИМОСТЬ ТЕЛЛУРИДА СВИНЦА

И.П.Крылов, Б.Э.Надгорный

Инжекция горячих электронов или освещение пленки при гелиевых температурах переводили окисленный PbTe в низкоомное состояние. Обратный переход в высокоомное состояние осуществлялся либо при отогреве до температур жидкого азота, либо при наложении электрического поля $E \geq 10^3$ В/см.

Для исследования пролета горячих электронов сквозь пленки свинца нами использовались слоистые пленочные структуры Al – Al₂O₃ – Pb_I – PbTe – Pb_{II} кратко описанные в работе [1].

Туннельный переход $Al - Al_2O_3 - Pb_I$ служил инжектором энергизованных или горячих электронов при включении постоянного напряжения U_1 между слоями Al и Pb_I . Энергетические барьеры в структуре $Pb_I - PbTe - Pb_{II}$ способствовали детектированию горячих электронов, проходивших сквозь слой $PbTe$ и вызывавших разность потенциалов U_2 между Pb_I и Pb_{II} (см. рис. 1). Слой $PbTe$ перед напылением пленки свинца Pb_{II} подвергался окислению в нормальных атмосферных условиях с целью получения почти компенсированного полупроводника, обладающего высоким сопротивлением при низких температурах [2]. Слой Pb и $PbTe$ имели толщину ~ 1 мкм.

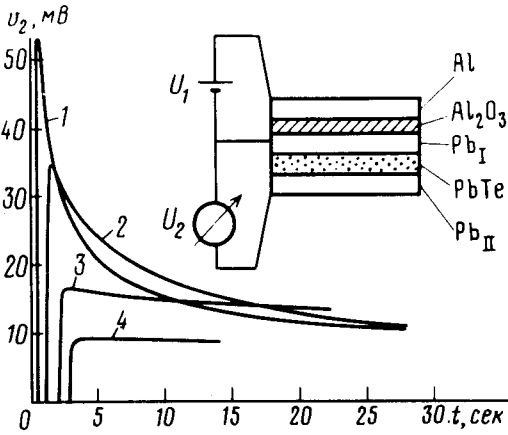


Рис. 1. Зависимость индуцированного напряжения U_2 от времени при температуре $T = 1,3K$. Кривые сняты при следующих значениях напряжений инжекции U_1 : 1 - 0,95 В; 2 - 0,8В; 3 - 0,5В; 4 - 0,4В

В результате экспериментов при 77К было обнаружено, что при включении U_1 возникает постоянное напряжение U_2 [1]. При понижении температуры до $\sim 1,3K$ оказалось, что инжекция горячих электронов может влиять на сопротивление слоя $PbTe$. На рис. 1 приведены записи напряжения U_2 между слоями свинца в зависимости от времени. Момент включения U_1 совпадает с начальным скачком U_2 . В течение всего времени, пока было включено $U_1 < 0,4$ В, значение $U_2 = const$. Значение сопротивления слоя теллурида $R \approx 1$ МОм, которое можно было определять, пропуская ток между Pb_I и Pb_{II} независимо от цепи инжекции, не менялось в результате включения и выключения $U_1 < 0,4$ В. На рис. 1 видно, что при больших величинах U_1 с течением времени происходил спад U_2 при неизменном U_1 . После выключения $U_1 > 0,5$ В, изменение сопротивления слоя $PbTe$ давало уменьшенное значение R' так что весь спад U_2 можно было отнести за счет понижения сопротивления барьерного слоя при неизменном токе инжекции. Эффект уменьшения сопротивления $PbTe$ наблюдался при любом знаке U_1 , т. е. при инжекции как электронов, так и дырок. Новое состояние с меньшим сопротивлением, которое мы будем называть низкоомным сохранялось после прекращения инжекции, так что в течение нескольких часов гелиевого эксперимента не наблюдалось заметного увеличения R' .

В то же время переход в низкоомное состояние не являлся следствием необратимых процессов в пленках. После отогрева до 77К и повторного охлаждения сопротивление возвращалось к прежнему значению. Обратного перехода можно было достигнуть также, не повышая температуры, а приложив к слою $PbTe$, т. е. между Pb_I и Pb_{II} напряжение от внешнего источника U_3 . Скорость восстановления высокоомного состояния сильно зависела от величины U_3 , так что при $U_3 \sim 1$ В переход занимал несколько секунд, а при меньших значениях U_3 требовал минут и даже часов. Джоулево тепловыделение в слоистой структуре было $< 10^{-6}$ Вт и не могло вызывать перегрева, достаточного для восстановления высокоомного состояния, так как слоистая структура вместе со стеклянной подложкой была погружена в сверхтекучий гелий.

Эффект увеличения проводимости $PbTe$ после инжекции горячих электронов аналогичен появлению „замороженной” или остаточной фотопроводимости, наблюдавшейся во многих полупроводниках (см., например, ссылки в обзоре [3]). В $PbTe$ ранее этот эффект при гелиевых

температурах не исследовался. Поэтому мы провели специальные опыты по наблюдению замороженной фотопроводимости в PbTe. Пленка из этого полупроводника размерами $\sim 1 \times 1 \text{ см}^2$ напылялась на стеклянную подложку в вакууме 10^{-5} тор. Kontakтами служили предварительно напыленные полоски Pb. Пленка PbTe после напыления содержалась в нормальных атмосферных условиях, т. е. ее окисление проходило до стадии полного насыщения. Как известно, окисление PbTe приводит к компенсации доноров и смене первоначальной проводимости n -типа на проводимость p -типа [2]. В таких почти компенсированных пленках PbTe в наших опытах наблюдалось увеличение сопротивления при понижении температуры и большой эффект замороженной фотопроводимости (см. рис. 2). Пленка освещалась лампочкой мощностью $\sim 1 \text{ Вт}$, расположенной вместе с пленкой внутри замкнутого медного стакана, погруженного в жидкий гелий. Лампочка находилась на расстоянии $\approx 5 \text{ см}$ от пленки. Включение лампочки при температуре пленки $T = 1,3 \text{ К}$ приводило к уменьшению сопротивления PbTe на 6 порядков за несколько секунд. После прекращения подсветки PbTe оставался в низкоомном состоянии в течение многих часов гелиевого опыта. Отогрев пленки до $T \gtrsim 100 \text{ К}$ возвращал ее в прежнее состояние. Таким образом, влияние инжекции горячих электронов и оптического возбуждения оказались качественно схожи.

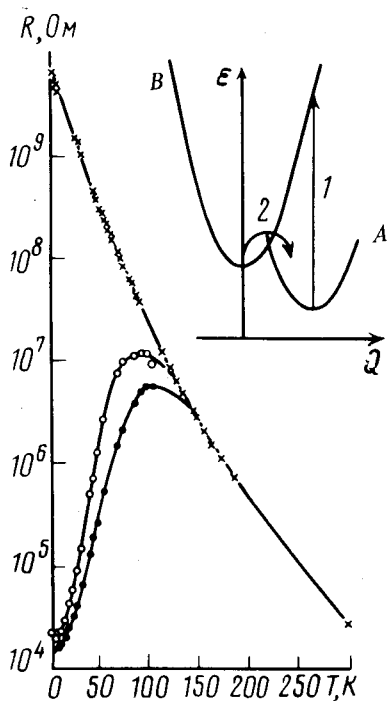


Рис. 2. Зависимость сопротивления окисленной пленки PbTe от температуры. Различные точки соответствуют измерениям: + — без освещения при охлаждении до 1,3К, ● и ○ — стационарное значение R при отогреве для каждого значения температуры: ● — при освещении пленки, ○ — после выключения подсветки. На вставке — зависимость энергии ϵ системы акцептор + электрон от конфигурационной координаты Q . A — энергия состояния с локализованным электроном, B — энергия состояния с делокализованным электроном. Переходы: 1 — при оптическом возбуждении или возбуждении электронным ударом; 2 — при термическом возбуждении

Недавно были опубликованы работы [4, 5], в которых большая величина замороженной фотопроводимости наблюдалась в сложном соединении $\text{Pb}_{0,8}\text{Sn}_{0,2}\text{Te} + \text{In}$ и связывалась с наличием определенного процента примеси индия. Наши результаты показывают, что механизм замороженной фотопроводимости в теллуридах может иметь другую природу. Нам представляется — правдоподобным существование в окисленном PbTe автолокализованных акцепторных состояний, уровень которых поднимается выше уровня Ферми при срыве электрона с акцептора и переводе его в зону проводимости (см. вставку на рис. 2, где конфигурационная координата Q характеризует деформацию решетки). Подобные соображения о сильном изменении деформации решетки при заполнении и опустошении локального уровня были высказаны в работе [6] применительно к донорам в $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$, а принципиально такая возможность была выяснена еще в работе [7].

Остается неясным качественное различие влияния инжекции горячих электронов и обычного пропускания тока через слой PbTe. В то время как первая вызывает переход в низкоомное состояние, второе вызывает обратный переход. Объяснить это можно лишь с помощью довольно искусственного предположения, что горячие электроны, имеющие относительно высокую энергию ~ 1 эВ для преодоления барьеров на границе Pb – PbTe с большей вероятностью вызывают переходы типа 1, изображенные на вставке рис. 2, с энергией ~ 1 эВ, нежели надбарьерные переходы типа 2. Напротив, относительно слабые электрические поля, возникающие в пленке PbTe при пропускании тока, от дополнительного внешнего источника, не могут вызывать переходы типа 1, а приводят лишь к возврату в высокоомное состояние за счет переходов типа 2 с энергией $\sim 0,01$ эВ.

Авторы благодарны Э.И.Рашба и Ю.В.Шарвину за обсуждение результатов, В.П.Зломанову и Г.А.Калюжной за полезные советы и предоставление образцов полупроводников.

Литература

1. Крылов И.П., Надгорный Б.Э. Письма в ЖЭТФ, 1981, 34, 186.
2. Vode D., Levinstein H. Phys. Rev. 1954, 96, 259.
3. Шейкман М.К., Шук А.Я. ФТП, 1976, 10, 209.
4. Вул Б.М., Воронова И.Д., Калюжная Г.А., Мамедов Т.С., Рагимова Т.Г. Письма в ЖЭТФ, 1979, 29, 21.
5. Вул Б.М., Воронова И.Д., Гришечкина С.П., Рашимова Т.Ш. Письма в ЖЭТФ, 1981, 33, 346.
6. Lang D.V., Logan R.A., Jaros M. Phys. Rev., 1979, B19, 1015.
7. Рашба Э.И. Изв. АН СССР, сер. физ., 1976, 40, 1793.