

Корреляционные эффекты в $Pb_{1-x}Sn_xTe(In)$, индуцированные переменным электрическим полем

Д. Р. Хохлов

Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова, Москва, Россия

Легирование узкощелевых полупроводников на основе теллурида свинца некоторыми элементами III группы приводит к появлению эффектов, нехарактерных для исходного материала. Так, при легировании сплавов $Pb_{1-x}Sn_xTe$ и $Pb_{1-x}Mn_xTe$ индием наблюдается эффект стабилизации уровня Ферми, а также долговременные релаксационные процессы при низких температурах, вызванные выведением системы из состояния равновесия, в частности, задержанная фотопроводимость.

Появление указанных эффектов обусловлено необычными свойствами примесных состояний, возникающих при легировании сплавов на основе теллурида свинца индием. В частности, эффект стабилизации уровня Ферми обусловлен тем, что примесь индия формирует центры с отрицательной корреляционной энергией (negative-U centres), и поэтому основное состояние примесного центра является двухэлектронным. Возбуждение электронов в зону проводимости происходит через промежуточное одноэлектронное состояние примеси, расположенное по энергии существенно выше дна зоны. Таким образом формируется эффективный барьер для рекомбинации неравновесных носителей заряда, поскольку для релаксации в основное двухэлектронное состояние примесный центр вначале должен захватить один электрон и перейти в одноэлектронное состояние, лежащее выше дна зоны по энергии, и лишь затем захватить второй электрон и перейти в основное состояние. Возникновение рекомбинационного барьера приводит к накоплению фотовозбужденных носителей заряда в зоне проводимости при низких температурах и к появлению задержанной фотопроводимости.

Использование эффекта задержанной фотопроводимости в реальных фотоприемных системах является весьма заманчивым, поскольку позволяет производить «внутреннее» интегрирование сигнала фотопроводимости, не прибегая к использованию внешних цепей, ПЗС-матриц, и т.п. С другой стороны, для такого использования необходимо иметь в распоряжении возможность быстрого гашения задержанной фотопроводимости, чтобы работать в режиме периодического накопления и последующего быстрого сброса сигнала.

Такой способ гашения был разработан и заключался в подаче мощного радиочастотного импульса на контакты образца, что позволяло гасить задержанную фотопроводимость за время порядка 10 мкс. Было показано, что ме-

ханизм такого гашения не является термическим. Кроме того, было продемонстрировано, что эффективность гашения резонансно зависит от частоты радиочастотного импульса. Таким образом, стало ясно, что механизм воздействия переменного электрического поля на примесные центры является весьма нетривиальным.

Исследование электрофизических свойств сплавов $Pb_{1-x}Sn_xTe(In)$ в переменном электрическом поле подтвердило данное предположение. Было показано, что значение низкочастотной диэлектрической проницаемости резко, на порядки величины возрастает при увеличении концентрации носителей заряда, причем способ повышения концентрации — увеличение температуры или внешняя инфракрасная подсветка — не влияет на эффект. Важно, что изменение емкости происходит непропорционально геометрическому размеру образца, в отличие от изменения сопротивления. Это означает, что емкость образца является распределенной и вклад в ее возрастание при увеличении концентрации носителей вносит перезарядка примесных центров в переменном электрическом поле. Таким образом, рекомбинационный барьер, разделяющий двухэлектронное и пустое состояния примесного центра, исчезает в переменном электрическом поле. Более того, оценка характерного времени перезарядки, сделанная с учетом величины емкости и сопротивления образца, дает значение, совпадающее с обратной частотой, соответствующей наиболее эффективному радиочастотному гашению задержанной фотопроводимости.

Рассматриваемые эффекты могут быть связаны с другим интересным явлением, наблюдающимся в сплавах $Pb_{1-x}Sn_xTe(In)$ — со сверхпроводимостью, зарегистрированной в сплавах с высоким содержанием $SnTe$. Действительно, формирование электронной пары на примесном центре может, по-видимому, в одних условиях привести к сверхпроводимости, а в других — к долговременным рекомбинационным процессам при низких температурах. Вполне вероятно, что роль переменного электрического поля сводится к стимуляции корреляционных эффектов на различных примесных центрах, и, возможно, к стимуляции сверхпроводимости. К последнему утверждению есть определенное экспериментальное основание. В сплаве $Pb_{1-x}Mn_xTe(In)$ при измерениях магнитной восприимчивости индукционным методом, т.е. в переменном магнитном поле, наблюдались признаки высокого диамагнитного отклика в сильном магнитном поле при низких температурах.

Работа выполнена в соавторстве с А.Е. Кожановым, С.Н. Чесноковым, А.В. Никоричем и Л.И. Рябовой.