

МЕХАНИЗМЫ ТЕНЗО РЕЛАКСАЦИИ ЭЛЕКТРО ПРОВОДИМОСТИ
В ОБРАЗЦАХ $Si < Mn >$ и $Si < Zn >$

И.Г.Турсунов¹, У.Эшниезов²

^{1,2}Чирчикский государственный педагогический институт, 111700 Чирчик, Узбекистан

¹Национальный университет Узбекистана, 100174 Ташкент, Узбекистан

E-mail: ikronjon0804@gmail.com

Аннотация. В работе приведены результаты исследования тензорелаксации проводимости и физические механизмы её проявления при импульсных режимах воздействия изотропного давления в образцах $Si < Mn >$ и $Si < Zn >$ в зависимости от степени их компенсации и типа проводимости в диапазоне давлений $P = 0 \div 5 \cdot 10^8$ Па и температур $T = 273 \div 300$ К. Определена энергия ионизации уровней Mn и Zn и их барические коэффициенты, которые составили $E_{Mn} = E_c - 0.52$ эВ, $\alpha_{Mn} = 1.81 \cdot 10^{-11}$ эВ/Па; $E_{Zn} = E_c - 0.54$ эВ, $\alpha_{Zn} = 1.4 \cdot 10^{-11}$ эВ/Па, соответственно.

Введение. При статических условиях изотермического воздействия давления энергия переданная полупроводнику при всестороннем гидростатическом сжатии (ВГС) успевае т рассеяться в окружающую среду, тем самым, температура образцов сохраняется постоянной. При этом удельное сопротивление компенсированных образцов монотонно уменьшается с ростом ВГС [1]. Но при создании необходимых условий данная энергия, полученная при ВГС, может временно сохраниться и успеть изменить её внутреннюю энергию, т.е. температуру, которая, в свою очередь, вызывает дополнительный тензо-термоэффект. В связи с этим, учитывая высокую чувствительность к температуре сильно компенсированных полупроводников с глубокими уровнями, нами исследована тензорелаксация проводимости в компенсированных образцах $Si < Mn >$ и $Si < Zn >$ при импульсных воздействиях ВГС, при которых реализуются условия проявления комбинированного тензо – термо эффекта [2].

Настоящая работа посвящена исследованиям динамической тензопроводимости (тензорелаксации тока) и физическим механизмам её проявления при импульсных

воздействиях ВГС в компенсированных образцах $Si < Mn >$ и $Si < Zn >$ в зависимости от степени их компенсации, типа проводимости в диапазоне давлений $P = 0 \div 0,5$ ГПа и температур $T = 273 \div 300$ К.

Для исследования тензоэффекта при импульсных режимах воздействия всестороннего давления нами были использованы компенсированные образцы $Si < Mn >$ и $Si < Zn >$ n - и p - типа проводимости полученные путем высокотемпературной диффузии и контрольные образцы $Si < B >$, $Si < P >$ отожженные при тех же условиях с одинаковыми геометрическими размерами $2 \times 3 \times 6$ мм³ в виде прямоугольных параллелепипедов и эксперименты проводились согласно методу [3].

На рис.1. приведены кинетические зависимости тока $J(t)$ от времени, состоящие из двух участков, соответствующих по времени приложению и снятию давления в образцах $n-Si < Mn >$ с удельным сопротивлением $\rho = 1,6 \cdot 10^5$ Ом·см при воздействии импульсного давления трапецеидальной формы с амплитудой $\Delta P = 5 \cdot 10^8$ Па и скважностью $\square 60$ с при температуре окружающей среды 293 °С.

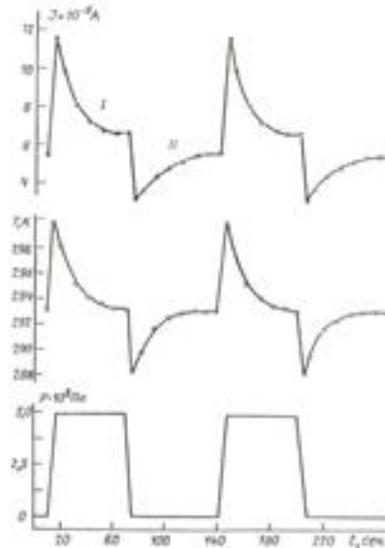


Рис.1. Кинетические зависимости тока и температуры в образцах $n-Si < Mn >$ при импульсном воздействии ВГС.

Из рисунка 1 видно, что при импульсе приложенного давления $P(t)$ длительностью $\square 60$ с и скоростью нарастания $\partial P / \partial t \square 10^8$ Па/с значение тока в образцах начинает резко возрастать и при достижении давления своего амплитудного

значения величина тока также принимает некоторое свое максимальное значение J_{\max} . Далее с течением времени величина тока в образцах релаксируя экспоненциально уменьшается до своего статического значения J_{cm} (участок I). При этом давление в образцах, как это показано на рис.1, выдерживается постоянным. После резкого снятия давления значение тока в образцах также резко уменьшается до значения некоторого своего минимума J_{\min} , а далее релаксируя восстанавливает своё исходное, до приложения давления, значение J_0 (участок II). При повторной импульсной нагрузке с той же амплитудой и скоростью изменения в поведении тензопроводимости наблюдается аналогичная картина, которая в качественном и количественном отношении полностью воспроизводится.

Измерения температуры непосредственно в образцах показали, что изменение температуры образцов по времени при импульсном режиме воздействия давления коррелирует с изменением тока в образцах, т.е. наблюдаемые динамические изменения тока в образцах связаны с синхронными изменениями их температуры (рис.1, крив.2), т.е. в процессе импульсного сжатия образцы нагреваются, их температура начинает возрастать и при достижении максимального давления температура также приобретает максимальное значение T_{\max} (крив.2, участок I). Далее с течением времени образцы вследствие рассеяния тепловой энергии кристалла в окружающую среду начинают охлаждаться, и температура релаксирует до своего первоначального значения T_0 . При резком снятии давления образцы, наоборот, начинают охлаждаться и температура их понижается до некоторого значения T_{\min} , далее релаксируя приобретает своё первоначальное значение T_0 (участок II). Значения тока и температуры в образцах зависят от скорости и амплитуды импульсного давления, а также от условий теплоотвода.

Для получения более подробной информации также были исследованы динамическая тензопроводимость при импульсном адиабатическом режиме воздействия ВГС в образцах $Si < Mn >$ и $Si < Zn >$ с различной степенью компенсации и типа проводимости. Результаты проведённых исследований показали, что с ростом степени компенсации в образцах экстремальные значения релаксируемого тока тоже растёт. Динамическая тензопроводимость в компенсированных и перекомпенсированных $p - Si < Mn >$ и $n - Si < Mn >$, образцах совпадая

качественно, в количественном отношении незначительно (2%) различаются. В исходных и контрольных образцах явления динамической тензопроводимости и релаксация тока не наблюдались.

Следует отметить, что поведение динамической тензопроводимости при данных условиях воздействия давления в компенсированных образцах $Si < Mn >$ и $Si < Zn >$ идентичны. Для выявления физических механизмов проявления динамической тензопроводимости (тензорелаксации проводимости) при импульсных режимах воздействия всестороннего гидростатического сжатия нами был исследован тензо-Холл эффект в исследованных ранее образцах $Si < Mn >$ и $Si < Zn >$ с различными степенями компенсации. Измерения коэффициента Холла проводились при импульсных и статических режимах воздействия давления. Измерения при импульсных режимах воздействия давления показали, что изменение тока в образцах обусловлено, в основном, изменением концентрации носителей тока. На рис.2 приведены кинетические зависимости концентрации носителей тока в образцах $n-Si < Mn >$ (крив. 1) и $n-Si < Zn >$ (крив.2) с удельными сопротивлениями $\rho = 1,62 \cdot 10^5 \text{ Ом} \cdot \text{см}$ и $\rho = 4,35 \cdot 10^4 \text{ Ом} \cdot \text{см}$, соответственно. Из рисунка видно, что изменение концентрации носителей тока происходит синхронно с изменением температуры (крив.3) и отражает картину изменения тока в образцах. При этом изменение подвижности носителей незначительно и составляет всего $2 \div 3\%$.

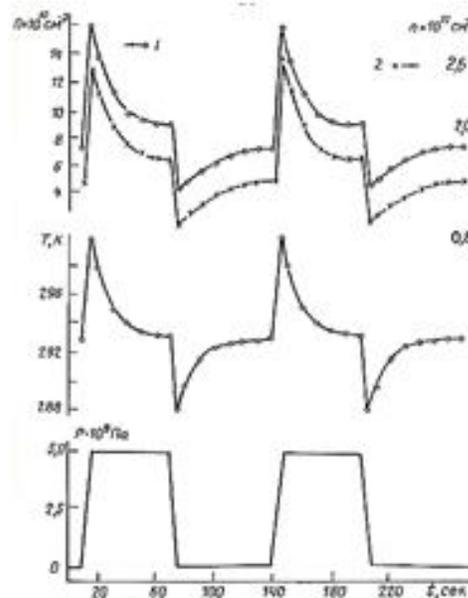


Рис.2. Кинетические зависимости концентрации электронов в образцах

$Si < Mn >$ и $Si < Zn >$ при импульсном воздействии ВГС:

1- $n - Si < Mn >$, $\rho = 1,6 \cdot 10^5 \text{ Ом} \cdot \text{см}$;

2- $n - Si < Zn >$, $\rho = 4,35 \cdot 10^4 \text{ Ом} \cdot \text{см}$

Следовательно, динамическое изменение тока в компенсированных образцах $Si < Mn >$ и $Si < Zn >$ при импульсном режиме воздействия ВГС можно представить в виде [4]:

$$J = e\mu n U \frac{S}{l}$$

Учитывая, что $n = n_0 \exp[-(E_i - \alpha_i P / kT)]$

$$J = e\mu n U \frac{S}{l} = e\mu n_0 U \frac{S}{l} \exp[-(E_i - \alpha_i P / kT)] \quad (1)$$

где U - напряжение, приложенное к образцу, S и l - поперечное сечение и длина образца, e , μ , n - величины заряда, подвижности и концентрации носителей тока, E_i и α_i - энергия ионизации глубоких уровней и барические коэффициенты их изменений при ВГС, P - значение приложенного давления, T - температура образца, k - постоянная Больцмана.

Логарифмируя и далее дифференцируя по температуре выражение (1) получаем:

$$\frac{\partial \ln J}{\partial T} = \frac{\partial}{\partial T} \left[\ln \left(e \mu n_0 U \frac{S}{l} \right) \right] - \frac{1}{k} (E_i - \alpha_i P) \frac{\partial}{\partial T} \left(\frac{1}{T} \right) \quad (2)$$

Учитывая малость интервала изменений температуры ($\Delta T \ll 10 \text{ K}$), изменением подвижности носителей тока можно пренебречь и считая, что $\frac{\partial}{\partial T} \left[\ln \left(e \mu n_0 U \frac{S}{l} \right) \right] = 0$ для энергии ионизации примесных уровней E_i имеем:

$$E_i = \alpha_i P - k \frac{\frac{\partial}{\partial T} \ln J}{\frac{\partial}{\partial T} \left(\frac{1}{T} \right)} \quad (3)$$

Энергия ионизации уровней Mn и Zn и их барические коэффициенты, определённые согласно выражению (3), соответственно, составили $E_{Mn} = E_c - 0.52 \text{ эВ}$ и $\alpha_{Mn} = 1.81 \cdot 10^{-11} \text{ эВ/Па}$; $E_{Zn} = E_c - 0.54 \text{ эВ}$ и $\alpha_{Zn} = 1.4 \cdot 10^{-11} \text{ эВ/Па}$ которые хорошо согласуются с данными работ [5,6].

Таким образом, проведённые исследования динамической тензопроводимости при импульсных режимах воздействия давления в компенсированных и сильно компенсированных образцах $Si < Mn >$ и $Si < Zn >$ показали, что динамическая тензопроводимость, обусловленная термоэффектом, стимулированным давлением намного превосходит их статическую тензочувствительность и представляет интерес с точки зрения создания чувствительных датчиков внешнего давления.

Литература

1. Бахадырханов М.К., Болтакс Б.И., Куликов Г.С., Педяш Э.М.// ФТП, -1970. -т.4. - в.5. -с.873-878.
2. Бахадырханов М.К., Зайнабидинов С., Комилов Т.С., Тешабоев А.Т.// ФТП, 1974. т.8. в.12. с.2263-2265.
3. Абдураимов А., Зайнабидинов С.З., Маматкаримов О.О., Химаткулов О., Худайбергенов Т.Э. // ПТЭ. 1988. N 5. с.229-231.
4. Абдурахманов К.П., Далиев Х.С., Лебедев А.А., Утамуродова Ш.Б. Сборник научных трудов ТашГУ. 1985. с. 84-87.
5. Аскарлов Ш.И. автореферат. Канд.дисс. Л., 1982.
6. Абдураимов А. Канд. Дисс. Кишинев - 1990.