

МОДЕЛЬ ЗАМОРОЖЕННОЙ (ОСТАТОЧНОЙ) ПРОВОДИМОСТИ

В. Б. Сандомирский, А. Г. Ждан, М. А. Мессерер, И. Б. Гуляев

В настоящее время явление замороженной проводимости (ЗП), заключающееся в весьма длительном сохранении исходной проводимости охлажденных объектов после выключения фотовозбуждения [1], объясняется на основе барьерной модели Роуза – Гибсона [2 – 4]. Покажем, что анализ известных [1 – 5] и новых экспериментальных фактов, по существу однозначно, приводит к иной модели ЗП.

1. Опыты с гашением ЗП электрическим полем и особенности на квазистатических вольт-амперных характеристиках показывают, что заметные эффекты наступают в сравнительно слабых геометрических полях $\approx 5 \cdot 10^3$ в/см [1]. Это обстоятельство, а также нелинейность темновых вольт-амперных характеристик свидетельствуют о пространственной электрической неоднородности полупроводника вдоль линий тока, т. е. указывают на существование макроскопических барьеров. Естественно считать, например, что в поликристаллической пленке такие барьеры обусловлены слоями обеднения на границах раздела кристаллитов.

2. Характерные времена релаксации ЗП составляют $10^6 + 10^7$ сек [1, 5]. Отсюда следует, что высота барьера $\phi \approx 0,2$ эв при $T \approx 100^\circ\text{K}$ ($\tau \approx 10^6$ сек = $\tau_0 e^{\phi/kT}$, $\tau_0 \approx 10^{-4}$ сек).

3. Плотности тока в состоянии ЗП для таких барьеров должны составлять: $j = qn v_T e^{-\phi/kT} \approx 10^4 e^{-\phi/kT}$ а/см² = 10^{-6} а/см² ($n \approx 10^{17}$ см⁻³, $v_T \approx 10^6$ см/сек). На опыте [1] $j \approx 1 - 10$ а/см². Следовательно, имеется расхождение на шесть – семь порядков. Это означает, что барьеры, через которые протекает ток, гораздо ниже, чем рекомбинационные барьеры ($\approx 0,2$ эв). Таким образом, мы приходим к выводу, что в состоянии ЗП одновременно существуют рекомбинационные барьеры и барьеры для тока (дрейфовые барьеры).

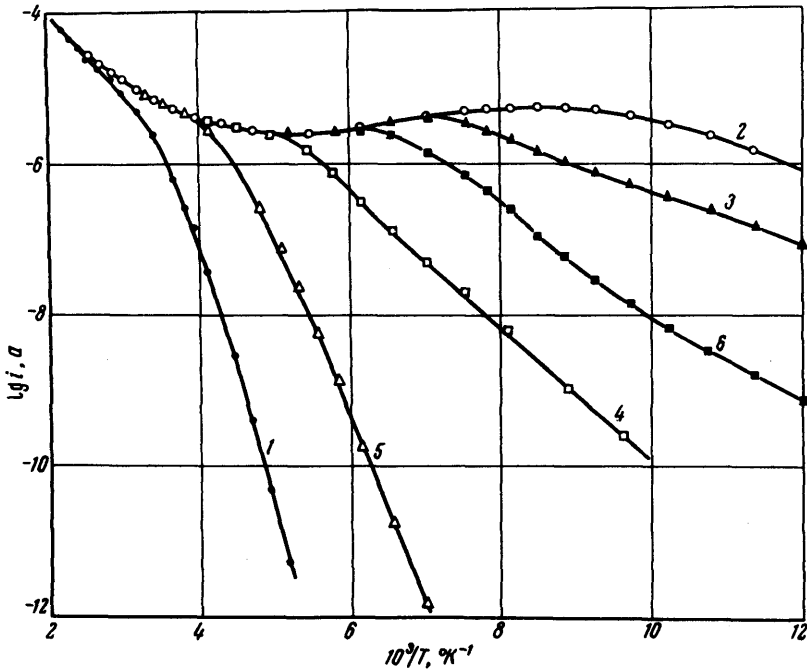


Рис. 1. Температурные зависимости темновой и замороженной проводимости (ЗП) в эпитаксиальных пленках сульфида кадмия: 1 – темновая проводимость, 2 – ЗП (после фотовозбуждения при 80°K), 3, 4, 5 – ЗП после частичного температурного гашения в результате прогрева до 123, 188, 243°K , соответственно, 6 – после частичного гашения полем $1,8 \cdot 10^3$ в/см при 80°K

4. Из опытов с температурной зависимостью ЗП вытекает, что дрейфовые барьеры при максимальной ЗП имеют высоту $\approx 0,05$ эв, и увеличиваются по мере температурного или полевого гашения ЗП (рис. 1). Отсюда ясно, что в состоянии темновой проводимости ток протекает через высокие дрейфовые барьеры, существенно понижающиеся после фотовозбуждения.

5. Поскольку в состоянии ЗП ток переносится неравновесными носителями через пониженные дрейфовые барьеры, а рекомбинация носителей протекает на других, рекомбинационных барьерах, необходимо

заклучить, что понижение высоты дрейфовых барьеров при фотовозбуждении происходит за счет носителей, "приходящих" из области рекомбинационных барьеров.

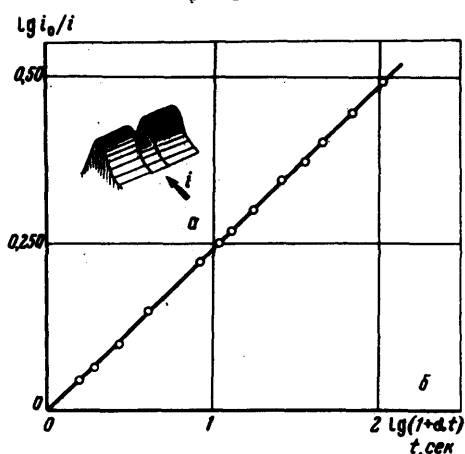


Рис. 2. а – Схема неоднородного барьерного рельефа, б – кинетика затухания замороженной проводимости. В качестве начального тока ЗП (i_0) взят ток в момент времени $t = 240$ сек ($t = 0$ – момент выключения фотовозбуждения). Этим исключен из рассмотрения начальный участок экспериментальной кривой затухания ЗП, на котором доминируют процессы релаксации, непосредственно не связанные с ЗП. Значение $a = 4,9 \cdot 10^{-3} \text{сек}^{-1}$

получено по экспериментальным зависимостям $\lg i_0/i \propto \gamma at$ и $\lg i_0/i \propto \lg at$ для предельных случаев $at \ll 1$ и $at \gg 1$ соответственно

Теория ЗП, основанная на такой модели неоднородного барьерного рельефа, позволяет количественно описать все перечисленные факты и следствия. Ограничимся здесь результатом расчета самой важной характеристики ЗП – кинетики ее спада. Закон затухания ЗП имеет вид

$$i_0/i = i(0)/i(t) = (1 + at)^\gamma,$$

где $i(t)$ – ток ЗП в момент времени t , a – константа, определяемая высотой рекомбинационного барьера при $t = 0$ и температурой, а $\gamma < 1$ и зависит от соотношения высот рекомбинационного и дрейфового барьеров.

Приведенная формула с $\gamma = 0,26$ очень хорошо описывает экспериментальные данные [1, 5] (рис. 2).

Институт радиотехники
и электроники
Академии наук СССР

Поступила в редакцию
5 января 1972г.
После переработки
1 марта 1972г.

Литература

- [1] А.Г.Ждан, А.Д.Ожередов, М.И.Елинсон, М.А.Мессерер. Письма в ЖЭТФ, 8, 402, 1968.
- [2] A.Rose. P.K.Weimer. S.V.Forque. Phys. Rev., 76, 179, 1949.
- [3] A.F.Gibson. Proc. Phys. Soc., (L), B64, part7, №379B, 603, 1951.
- [4] В.И.Гайдялис, Н.Н.Маркевич, Э.А.Монтримас. Физические процессы в электрофотографических слоях ZnO. Вильнюс, 1968, гл. IV.
- 5] А.Г.Жданов, А.Д.Ожередов, М.И.Елинсон. Радиотехника и электроника, 12, 569, 1967.