

ОТРИЦАТЕЛЬНАЯ ФОТОПРОВОДИМОСТЬ В МОНОКРИСТАЛЛАХ GeS

И. П. Акимченко, Г. К. Расулова, С. Г. Черноок

УДК 546.289.22:53.082.52

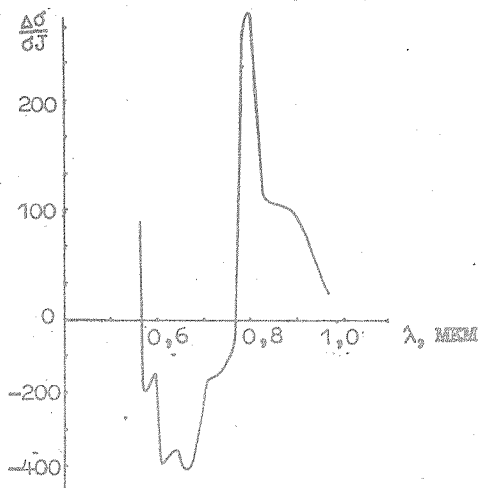
Исследованы спектры и кинетика фотопроводимости монокристаллического GeS p-типа при комнатной температуре в области длин волн 0,5 - 1,5 мкм. В области собственного поглощения ($\lambda = 0,8 - 0,6$ мкм) обнаружена отрицательная фотопроводимость, определяемая многозарядным центром с сечением захвата $\sigma_p = 2 \cdot 10^{-21}$ см².

Исследование спектров фотопроводимости монокристаллического GeS p-типа показало, что набор уровней и положение длинноволнового края фоточувствительности в кристаллах, выращенных в одинаковых условиях, существенно различаются. Предполагалось [1], что некоторые из уровней обусловлены дефектами кристаллической решетки, что впоследствии было подтверждено результатами, полученными на образцах с внедренными ионами Li^+ и As^+ [2]. Было установлено также, что один из дефектов является многозарядным центром, поскольку наблюдалось оптическое гашение фотопроводимости (переход электрона с уровня $E_V + 0,27$ эВ в зону проводимости).

В настоящей работе приводятся данные об отрицательной фотопроводимости, обнаруженной в нелегированных кристаллах GeS p-типа. Спектры фотопроводимости снимались при комнатной температуре в области длин волн 0,5 - 1,5 мкм в поляризованном и неполяризованном свете. Модулированный сигнал записывался с помощью системы синхронного детектирования.

На рис. 1 представлен спектр фотопроводимости GeS, из которого следует, что освещение образца светом из области собственного поглощения ($\lambda = 0,8 - 0,6$ мкм) приводит к

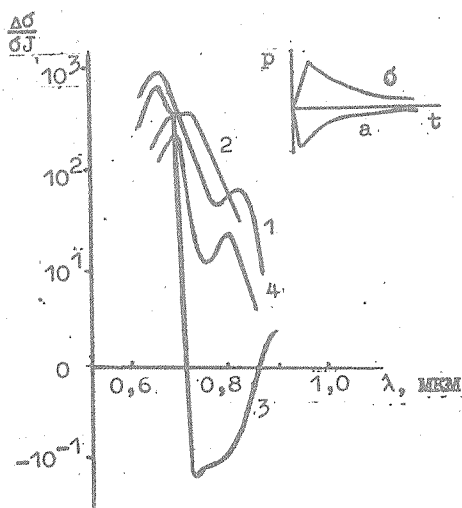
уменьшению концентрации основных носителей (отрицательная фотопроводимость). В области отрицательных значений фотопроводимости имеются максимумы при энергиях 1,82, 2,08 и 2,15 эВ, наблюдавшиеся ранее в работе /2/ и обусловленные переходами электронов из валентной зоны в особые точки зоны проводимости более высокого порядка. Край поглощения, определенный по высоте нарастания сигнала фотопроводимости, соответствует энергии 1,65 эВ ($E_{II\bar{A}}$), что практически совпадает с E_g для прямого разрешенного перехода. В длинноволновой области, где фотопроводимость положительна, имеются переходы при энергиях 1,4 и 1,55 эВ. Было замечено однако, что если образец в течение некоторого времени освещать светом из области собственного поглощения, то отрицательная фотопроводимость исчезает, но вновь появляется после выдержки кристалла в темноте. Рис. 2 иллюстрирует наблюдаемые эффекты. Спектры 1 и 2, не имеющие области отрицательных значений фотопроводимости, получены при $E_{II\bar{A}}$ и $E_{II\bar{B}}$, после освещения образца в течение 30 мин ($\lambda \sim 0,7$ мкм). Спектры 3 и 4 сняты спустя 1,5 часа после



Р и с. 1. Спектр фотопроводимости GeS при $T = 300$ К

выключения освещения: при $\bar{E}\parallel\bar{b}$ появляется участок с отрицательной фотопроводимостью. Как известно /3/ отрицательная фотопроводимость наблюдается в веществах, имеющих многозарядные центры, когда при генерации светом электронов и дырок основные носители (в данном случае дырки) быстро захватываются центрами рекомбинации. Если считать, что точка пересечения спектра фотопроводимости с осью абсцисс дает энергетическое положение уровня, определяющего отрицательную фотопроводимость, то этот уровень оказывается расположенным на расстоянии $\sim 0,1$ эВ от края одной из зон. Вероятнее всего, происходит генерация электронов с уровня $E_V + 0,1$ эВ в зону проводимости, а затем их быстрая рекомбинация с дырками валентной зоны через какой-нибудь уровень в запрещенной зоне.

Уровень, определяющий отрицательную фотопроводимость, имеет, очевидно, сильно различающиеся сечения захвата электрона и



Р и с. 2. Спектры фотопроводимости GeS. Кривые 1 ($\bar{E}\parallel\bar{a}$) и 2 ($\bar{E}\parallel\bar{b}$) получены после освещения образца в течение 30 мин; кривые 3 ($\bar{E}\parallel\bar{b}$) и 4 ($\bar{E}\parallel\bar{a}$) получены спустя 1,5 ч после выключения освещения

дырки, так что при освещении светом равновесие в системе постепенно смещается и фотопроводимость не наблюдается. В темноте происходит термическое заполнение уровня, что и приводит к восстановлению первоначального состояния. Прямым доказательством уменьшения концентрации носителей в GeS р-типа при освещении являются кривые релаксации фотопроводимости.

На вставке рис. 2 представлены кривые спада и нарастания проводимости, полученные при освещении образца светом с $\lambda = 0,8$ мкм. Как следует из рисунка, при выключении освещения за несколько миллисекунд происходит резкое уменьшение концентрации носителей с последующим медленным увеличением проводимости до темнового значения (кривая а на вставке рис. 2). Выключение света приводит к резкому увеличению концентрации до максимального значения, после чего происходит медленная релаксация к темновому значению (кривая б). При повторном включении и выключении освещения максимальные значения проводимости меньше первоначальных, причем величина сигнала зависит от времени пребывания облученного светом кристалла в темноте. Наблюдаемые эффекты весьма схожи с явлением фотоэлектрической утомляемости, обнаруженным в кристаллах CdS, GaSb, Cu_2O /4/. Разница состоит в том, что во всех случаях выключение освещения приводит не к уменьшению, а к увеличению концентрации носителей с последующей медленной релаксацией проводимости до темнового значения. Расчет постоянных спада и нарастания концентрации носителей при освещении светом с $\lambda = 0,725$ мкм проводился по формулам: $\Delta p_d = \Delta p_{st} \exp(-t/\tau_d)$ и $\Delta p = \Delta p_{st} [1 - \exp(-t/\tau_{ph})]$, где Δp_{st} — стационарное значение проводимости, а Δp — изменение проводимости со временем. Из кривых релаксации, перестроенных в координатах $-t/\tau \sim \ln \Delta p_d / \Delta p_{st}$, можно рассчитать эффективное время жизни τ . Перестроенные кривые имеют два участка: один с $\tau \sim 0,9$ с и второй $\tau = 5$ с. Сечение захвата центра, определяющего кинетику рекомбинации, вычислялось по формуле $\sigma_p = \gamma / v$ (где v — тепловая скорость носителей, $\gamma = 1/\tau_p$ — коэффициент рекомбинации, p_0 — темновая концентрация дырок, при расчете которой использовалось значение подвижности, приведенное в работе /5/) и составляет $2 \cdot 10^{-21}$ см².

Таким образом, исследования спектров и кинетики фотопроводимости монокристаллического GeS показали, что в исходном

материале имеется многозарядный центр с сечением захвата $\sigma_p = 2 \cdot 10^{-21} \text{ см}^2$. Вследствие того, что уровень лежит в нижней половине запрещенной зоны, в кристалле GeS имеет место отрицательная фотопроводимость и долговременная релаксация (эффект фотоэлектрической утомляемости).

Поступила в редакцию
7 января 1981 г.

Л и т е р а т у р а

1. И. П. Акимченко и др., Краткие сообщения по физике ФИАН № II, 33 (1978).
2. I. P. Akimchenko, V. V. Krasnopevtsev, Ion Implantation, Proc. of the Second USA-USSR Seminar on Ion Implantation (July 9-11, 1979, Puschino), Novosibirsk, 1979, p. 82.
3. Р. Бьюб, Фотопроводимость твердых тел. изд. ИЛ, М., 1962 г., стр. 477.
4. М. К. Шейнкман, А. Я. Шик, ФТП, 10, вып. 2, 209 (1976).
5. Д. И. Блецкан и др., ФТП, 9, вып. 8, 1512 (1975). 75).