

## УМЕНЬШЕНИЕ ОПТИЧЕСКОГО ПОГЛОЩЕНИЯ КРИСТАЛЛОВ $\text{Bi}_{12}\text{GeO}_{20}$ ПРИ СТИМУЛЯЦИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ПОЛЕМ

А. Ю. Кудзин, Г. Х. Соколянский, А. С. Юдин

В монокристаллах германо- и силикосилленита ( $\text{Bi}_{12}\text{GeO}_{20}$ ,  $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$ ) наблюдается явление стимулированной проводимости [1, 2], состоящее в том, что при нагреве образца, снабженного инжектирующими электродами, с приложенным постоянным электрическим полем его проводимость возрастает на несколько порядков и при дальнейшем охлаждении в поле до комнатной температуры остается высокой. Экспериментальному исследованию явления посвящены работы [3, 4]. Напряжение стимуляции соответствует участку резкого нарастания на вольт-амперной характеристике. При комнатной температуре состояние стимуляции сохраняется длительное время. Состояние стимулированной проводимости снимается прогревом образца до 500 К.

В кристаллах (BGO, BSO) как прогретых, так и стимулированных установлен [3-5] прыжковый механизм проводимости. Стимуляция — объемный эффект. Состояние стимуляции сохраняется после снятия и повторного нанесения электродов, а также при сошлифовке приэлектродных поверхностей на толщину 0.03 мм. Следует отметить, что аналогичное явление обнаружено также в кристаллах  $\text{Bi}_4\text{Ge}_3\text{O}_{12}$ ,  $\text{Bi}_2\text{TeO}_5$ ,  $\text{Na}_{0.5}\text{Bi}_{0.5}\text{TiO}_3$ .

Механизм возникновения стимулированного состояния не выяснен. Увеличение проводимости в полупроводниках, подвергнутых освещению, связывают с наличием барьеров, разделяющих положительные и отрицательные заряды [6]. Поведение стимулированной проводимости в  $\text{Bi}_{12}\text{GeO}_{20}$  существенно отличается от описанного в [6].

В настоящей работе проведено исследование влияния стимулированного состояния на оптическое поглощение кристаллов в диапазоне 1.3—3.1 эВ. Для измерений использовались образцы в форме параллелепипеда размером  $0.6 \times 4 \times 10$  мм, на широкие грани которого наносились индий-галлиевые электроды. Спектры пропускания измерялись на двухлучевом спектрофотометре SPECORD M-40 при температуре 300 К. Свет проходил через образец параллельно нанесенным электродам. Приэлектродные области затемнялись диафрагмой. Коэффициент поглощения рассчитывался из известного соотношения [7]

$$t = \frac{(1 - R)^2 \exp(-\alpha d)}{1 - R^2 \exp(-2\alpha d)},$$

где  $R$ ,  $t$  и  $\alpha$  — коэффициенты отражения, пропускания и поглощения соответственно,  $d$  — толщина образца.

Методика эксперимента заключается в следующем: образец прогревался до температуры 500 К с последующим охлаждением до комнатной температуры при закороченных электродах. Снимался спектр поглощения. После этого образец прогревался до температуры 453 К с одновременным приложением электрического поля напряженностью 5000 В/см, при этом фиксировался ток через образец. После охлаждения образца без выключения поля образец увеличивал проводимость на 2—4 порядка по сравнению с исходной. Повторно снимался спектр поглощения.

Спектральные зависимости коэффициента поглощения приведены на рисунке. Величина коэффициента поглощения уменьшается при стимуляции образца. Влияние стимуляции на коэффициент поглощения сказывается в диапазоне 1.5—2.5 эВ, т. е. там, где в спектре поглощения кристаллов BGO присутствует плечо оптического поглощения, обусловленное влиянием примесей и дефектов кристалла.

В процессе стимуляции происходит рост проводимости и оптическое просветление  $\text{Vi}_{12}\text{GeO}_{20}$ . Подобным же образом на электропроводность и оптическое поглощение качественно влияют примеси Al, Ga [8], а также фосфора [9].

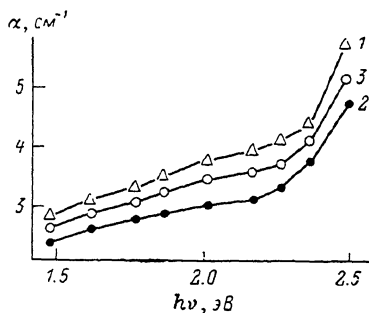
Наиболее последовательное объяснение механизма проводимости просветления кристаллов при легировании Al, Ga и P проведено в [10], где предполагается, что плечо поглощения вызвано ионами  $\text{Vi}_M^{3+}$ , смещенными со своих нормальных положений в места  $\text{Ce}^{4+}(\text{Si}^{4+})$  (M)-вакансий. Эти ионы  $\text{Vi}_M^{3+}$  захватывают дырку и существуют в виде центра  $(\text{Vi}_M^{3+} + h^+)$ . Просветление объясняется изменением состояния этого за счет серии

переходов:  $\text{Al}_M^{3+} \xleftarrow{e^-} (\text{Vi}_M^{3+} + h^+) \rightarrow \text{Vi}_M^{5+}$ ;  $p_M^{5+} \xrightarrow{e^-} (\text{Vi}_M^{3+} + h^+) \rightarrow \text{Vi}_M^{3+}$ .

Используя приведенные представления, можно объяснить наблюдаемые в работе эффекты следующим образом. Центры поглощения  $(\text{Vi}_M^{3+} + h^+)$  расположены на глубине 2.2 эВ ниже дна зоны проводимости. С ростом концентрации примесей их уровни могут расщепляться, образуя ряд локализованных состояний в запрещенной зоне. Оценка, проведенная

Спектральные зависимости коэффициента поглощения кристаллов  $\text{Vi}_{12}\text{GeO}_{20}$ .

1 — нестимулированный, 2 —  $n=4$ , 3 —  $n=2$ .  $n$  — отношение токов в стимулированном и нестимулированном образце.



по методике [11], дает интервал расщепления от 1.3—3.1 эВ. Именно в этих границах наблюдается плечо поглощения. Кроме того, исследования методами термостимулированных токов показывают наличие примесных уровней в интервале энергий 0.3—0.7 эВ ниже дна зоны проводимости [8]. Уровень Ферми расположен на глубине 0.8—1.0 эВ [8].

Инжектированные при стимуляции электроны захватываются центрами  $(\text{Vi}_M^{3+} + h^+)$ , перевода их в непоглощающие  $\text{Vi}_M^{3+}$ -центры. В результате кристалл просветляется. Малая величина эффекта связана с тем, что число инжектированных электронов много меньше числа поглощающих центров. При заполнении примесных уровней происходит перемещение уровня Ферми вверх по запрещенной зоне, что приводит к изменению степени компенсации таким образом, что увеличивается прыжковая проводимость по этим уровням.

#### Л и т е р а т у р а

- [1] Гуенок Е. П., Кудзин А. Ю., Соколянский Г. Х. УФЖ, 1976, т. 21, № 5, с. 866—867.
- [2] Oberschmid R. Phys. St. Sol. (a), 1985, vol. 89, N 2, p. 657—665.
- [3] Авраменко В. П., Клименко Л. П., Кудзин А. Ю. ФТТ, 1977, т. 19, № 4, с. 1201—1204.
- [4] Авраменко В. П., Кудзин А. Ю., Соколянский Г. Х. ФТТ, 1980, т. 22, № 10, с. 3349—3352.
- [5] Авраменко В. П., Кудзин А. Ю., Клименко Л. П., Соколянский Г. Х. В сб.: Активные диэлектрики. Днепропетровск: ДГУ, 1984, с. 71—82.
- [6] Шейнман М. К., Шик А. Я. ФТП, 1976, т. 10, № 2, с. 209—233.
- [7] Уханов Ю. И. Оптические свойства полупроводников. М.: Наука, 1977. 366 с.
- [8] Hou S. L., Laner R. B., Aldrich R. E. J. Appl. Phys., 1973, vol. 44, N 6, p. 2652—2658.
- [9] Grabmaier B. G., Oberschmid R. Phys. St. Sol. (a), 1986, vol. 96, N 1, p. 199—206.
- [10] Oberschmid R. Phys. St. Sol. (a), 1985, vol. 89, N 1, p. 263—266.
- [11] Коган Е. М., Третьякова С. В. ФТТ, 1987, т. 29, № 8, с. 2455—2460.

Днепропетровский государственный университет  
Днепропетровск

Поступило в Редакцию  
13 января 1988 г.