

КРАЙ ПОГЛОЩЕНИЯ В СЕГНЕТОЭЛЕКТРИКАХ-ПОЛУПРОВОДНИКАХ ЗБЗВ₂, В₁ЗВ₂, ЗБSJ

В.М.Фридкин, Е.И.Герзанович, И.И.Громник, В.А.Ляковицкая

Недавно Нитме с сотрудниками [1] синтезировали ряд соединений V, VI, VII групп и показали, что они являются одновременно сегнетоэлектриками и полупроводниками. В их же работах [2,3] исследовались фотопроводимость и сегнетоэлектрические свойства этих соединений. В работах Харбеке и Фридкина и др. [4,5] изучалось собственное поглощение в ЗБSJ. Было показано, что при сегнетоэлектрическом фазовом переходе в ЗБSJ имеет место скачок края собственного поглощения (соответственно ширины запрещенной зоны) на $\sim 0,06$ эв, а также изменение коэффициента температурной зависимости ширины запрещенной зоны (для ЗБSJ в сегнетоэлектрической области $dE_g/dT \approx -22 \cdot 10^{-4}$ эв/град, в паразелектрической области $dE_g/dT \approx -9 \cdot 10^{-4}$ эв/град [4,5]). На основе термодинамического рассмотрения одним из нас было показано [6], что эта аномалия характерна для фазовых переходов первого рода. После этого скачок в положении края собственного поглощения наблюдался в титанате бария, обнаруживавшем сегнетоэлектрический фазовый переход первого рода из тетрагональной модификации в кубическую [7].

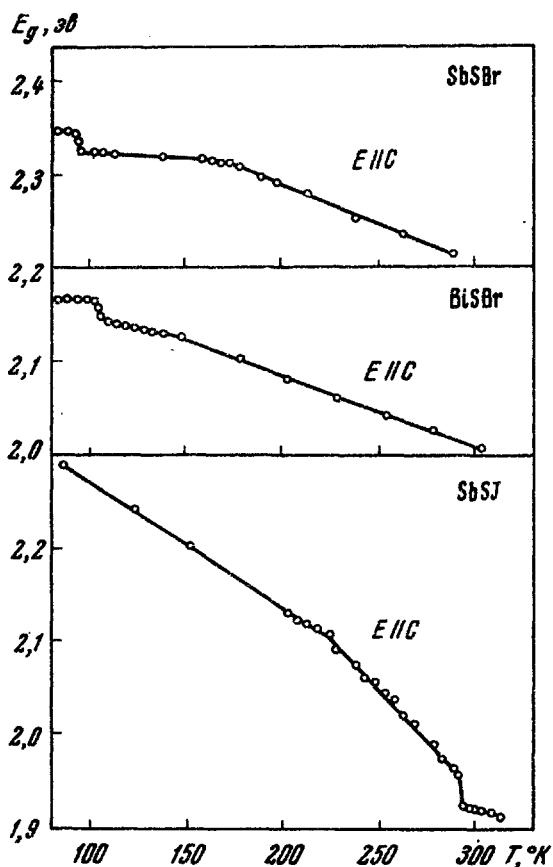
Представляло интерес исследовать поведение края собственного поглощения для ряда сегнетоэлектриков V, VI, VII групп, обнаруживающих низкотемпературные фазовые переходы. С этой целью в настоящей

работе нами было предпринято исследование оптического поглощения в $SbSb_2$, $BiSb_2$ и $SbSJ$ в интервале температур от комнатной до -190°C . По опубликованным данным [3] $SbSb_2$ обнаруживает фазовый переход при -180°C , а $BiSb_2$ при -170°C , причем характер перехода не был установлен.

Исследовались монокристаллы $SbSb_2$, $BiSb_2$ и $SbSJ$, выращенные из газовой фазы. Кристаллы $SbSb_2$ и $BiSb_2$ имели форму тонких игл (поперечный размер не более 0,1 мм), длина которых составляла 10–15 мм. Монокристаллы $SbSJ$ были более крупными (10x1x1 мм). Все исследованные монокристаллы принадлежат к ромбодипирамидальному классу. Направление спонтанной поляризации совпадает с осью второго порядка, параллельной оси игл. Для всех перечисленных кристаллов исследовалось оптическое поглощение в поляризованном свете в диапазоне температур от $+40^{\circ}\text{C}$ до -190°C . Измерения производились в вакуумном криостате, охлаждавшемся жидким азотом. Изменение температуры образца достигалось с помощью печки, а поддержание температуры с точностью до $0,2^{\circ}\text{C}$ осуществлялось электронной схемой стабилизации. Исследование спектров пропускания производилось с помощью монохроматора УМ-2 и фотоэлектрического умножения ФЭУ-19А. Измерение температуры осуществлялось с помощью медно-константановой термопары.

На рисунке представлена температурная зависимость ширины запрещенной зоны E_g для монокристаллов $SbSb_2$, $BiSb_2$ и $SbSJ$. Значение ширины запрещенной зоны определялось по краю собственно поглощения, который предварительно обрабатывался с целью выяснения характера переходов. Для всех трех кристаллов во всем исследованном интервале температур выполнялось соотношение $\alpha^{1/2} \sim h\nu$ (α – коэффициент поглощения, $h\nu$ – энергия фотона), что указывает на непрямой характер переходов. Кроме того, для $SbSb_2$ в зависимости $\alpha^{1/2} \sim h\nu$ наблюдались два прямолинейных участка, связанных, по-видимому, с поглощением и испусканием фонона. Энергия фонона, определенная из разности энергий, соответствующих двум участкам, оказалась равной 0,03 эв и не зависящей от температуры.

Для всех трех кристаллов нами не наблюдалось изменения формы края поглощения при фазовом переходе. Эти измерения были выполнены в поляризованном свете. На рисунке представлены результаты для $E \parallel C$. Для всех исследованных кристаллов ширина запрещенной зоны для $E \parallel C$ оказалась меньше, чем для $E \perp C$ (в работе Харбека [4] для $SbSBr$ был получен аналогичный результат).



Как видно из рисунка, для всех трех сегнетоэлектриков в области фазового перехода имеет место скачок ширины запрещенной зоны. Для $SbSBr$ этот скачок наблюдается при $-180^{\circ}C$ и составляет 0,02 эв для $E \parallel C$ и 0,03 эв для $E \perp C$. Обращает на себя внимание скачок температурного коэффициента ширины запрещенной зоны, который для $SbSBr$ наблюдается в паразелектрической области при температуре $-103^{\circ}C$, составляет $\Delta(\partial E_g / \partial T) \approx 8 \cdot 10^{-4}$ эв/град и, по-видимому, обусловлен фазовым переходом второго рода.

Для BiSb_2 , как видно из рисунка, температурная зависимость E_g также обнаруживает скачок. Величина скачка составляет $\sim 0,02$ эв (для $E \parallel C$), причем скачок имеет место при температуре -170°C , что соответствует ранее наблюдавшемуся в BiSb_2 сегнетоэлектрическому фазовому переходу [3]. Наряду с этим в BiSb_2 , как и в SbSB_2 , в паразелектрической области при температуре -140°C наблюдается излом в температурной зависимости E_g (величина скачка $\Delta(dE_g/dT) \approx 4 \cdot 10^{-4}$ эв/град), по-видимому свидетельствующий о существовании фазового перехода второго рода. Кроме того, при -170 и -140°C оба фазовых перехода проявляют себя в исследованной нами зависимости I_{hi} от обратной температуры (i — темновой ток), которая для BiSb_2 обнаруживает излом вблизи температур -170 и -136°C . Измерение температурной зависимости электропроводности SbSB_2 нами не производилось.

Что касается аналогичных результатов, полученных для SbSJ (см. рисунок), то они качественно подтверждают данные, опубликованные ранее [4,5]. При температуре перехода кристалла из сегнето- в паразелектрическую область $t \approx 22^\circ\text{C}$ ширина запрещенной зоны скачком уменьшается на $\sim 0,03$ эв.

Кроме того, для SbSJ в сегнетоэлектрической области (также как для SbSB_2 и BiSb_2 в паразелектрической области) при температуре -43°C наблюдается значительный излом в температурной зависимости ширины запрещенной зоны E_g . Выше $t = -43^\circ\text{C}$ $dE_g/dT \approx -30 \cdot 10^{-4}$ эв/град (что согласуется с данными работ [4,5]), ниже этой температуры $dE_g/dT \approx -12 \cdot 10^{-4}$ эв/град). Возможно, что и в этом случае имеет место фазовый переход второго рода.

Результаты, представленные на рисунке, не только подтверждают существование в SbSB_2 , BiSb_2 и SbSJ сегнетоэлектрических фазовых переходов при температурах -180 -170 и $+22^\circ\text{C}$ соответственно, но и однозначно указывают на их характер (переходы первого рода). Наряду с этими переходами в паразелектрической области у SbSB_2 и BiSb_2 и в сегнетоэлектрической области у SbSJ наблюдаются особенности в температурной зависимости ширины запрещенной

зоны, по-видимому свидетельствующие о существовании в этих кристаллах фазовых переходов второго рода.

Институт кристаллографии
Академии наук СССР

Поступило в редакцию
9 июня 1966 г.

Литература

- [1] E.Fatuzzo, G.Harbecke, R.Nitsche, H.Roetschi, W.Ruppel. Phys. Rev., I27, 2036, 1962.
- [2] R.Nitsche, W.J.Merz, J.Phys.Chem.Solids, I3, 354, 1960.
- [3] R.Nitsche, H.Roetschi, P.Wild. Appl.Phys.Lett., 4, 210, 1964.
- [4] G.Harbecke. J.Phys.Chem. Solids, 24, 957, 1963.
- [5] В.М.Фридкин, К.Гулямов, В.А.Ляховицкая, В.Н.Носов, Н.А.Тихомирова, Физ. твердого тела, 8, 6, 1966.
- [6] В.М.Фридкин. Письма ЭТФ, 2, 252, 1966.
- [7] К.А.Верховская, В.М.Фридкин. Физ. твердого тела, 8, 5, 1966.

СПИНМАГНИТОФОНОННЫЕ И МАГНИТОФОНОННЫЕ ОСЦИЛЛАЦИИ МАГНИТОСОПРОТИВЛЕНИЯ В n -InAs

М.М.Аксельрод, И.М.Цидильковский

Ранее [1,2] теоретически и экспериментально (для n -InSb) было показано, что неупругое резонансное рассеяние электронов на оптических фононах с изменением ориентации спина (спин-магнитофононный резонанс - СМР) обусловливает появление осцилляций поперечного (ρ_{xx}) и продольного (ρ_{zz}) магнитосопротивлений. Условие резонанса имеет вид:

$$\epsilon_{N,S} - \epsilon_{k,S'} = \hbar\omega, \quad S \neq S', \quad (I)$$

где $\epsilon_{N,S}$ - энергия N -го уровня Ландау с данным значением спина, ω_0 - предельная частота оптического фонона, $S, S' = \pm 1/2$. При $S = S'$ уравнение (I) описывает условия магнитофононного резонанса (МФР) [3].