

ГРАНИЦА ФАЗ В СЕГНЕТОЭЛЕКТРИКЕ $SbSI$ КАК АНАЛОГ
ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ДОМЕНА В ПОЛУПРОВОДНИКЕ

В.М. Фридкин, И.М. Горелов, А.А. Греков, В.А. Ляховицкая,
А.И. Родин

В предыдущей работе авторов [1] сообщалось о новом оптическом методе наблюдения фазового перехода в монокристаллах $SbSI$. Этот метод основан на том, что в области фазового перехода первого рода вблизи $20^{\circ}C$ имеет место аномальный сдвиг края собственного поглощения $SbSI$ в область длинных волн [2].

Кристалл, помещенный в стеклянный вакуумный термостат, наблюдается и фотографируется с помощью микроскопа в проходящем монохроматическом свете с длиной волны, соответствующей краю собственного поглощения вблизи фазового перехода. При этом благодаря разнице в поглощении участки параэлектрической фазы должны выглядеть темными, а участки сегнетоэлектрической фазы - светлыми. При фазовом переходе первого рода обе фазы сосуществуют в конечном температурном интервале. В соответствии с этим в [1] наблюдалась структура чередующихся полос, подобная представленной на рисунке (см. вкл.). Аналогичные результаты независимо были получены японскими авторами [3,4]. Границы фаз соответствуют плоскостям (101). Описанные ниже результаты, получены оптическим методом [1] для кристаллов $SbSI$, выращенных из газовой фазы, имевшие форму игл и размеры порядка $1 \times 0,1 \times 7$ мм³. Ось иглы (ось С кристалла) совпадает с направлением спонтанной поляризации. Наблюдение кристалла в проходящем свете производилось

через параллельные грани пинакоида (100) в направлении, перпендикулярном оси c кристалла.

1. Под действием постоянного электрического поля, приложенного к кристаллу, граница между фазами движется к катоду. При достаточно малых полях это движение не сопровождается и не может быть связано со сдвигом температуры Кюри, так как соотношение между площадями, соответствующими двум фазам, остается постоянным. Об этом свидетельствует также и то, что сдвиг температуры Кюри не зависит от направления поля. Скорость перемещения границы в одном из исследованных кристаллов составляла 10^{-3} см/сек. Результаты наблюдения для этого кристалла представлены на рисунке. При соприкосновении границы с катодом наблюдалось появление новой границы у анода, которая также перемещалась к катоду.

2. При определенных условиях опыта наблюдались незатухающие колебания границы между фазами, сопровождающиеся электрическими колебаниями во внешней цепи кристалла. Условия опыта были следующими. В отсутствие внешнего поля вдоль оси c кристалла создавался градиент температуры. С этой целью один конец иглы поддерживался при температуре t_1 , а другой - при температуре t_2 , причем $t_1 > \theta > t_2$, где θ - температура Кюри. В процессе установления стационарного распределения температуры вдоль оси c происходил рост паразитической фазы и соответственно перемещение границы фаз по направлению к холодному концу иглы. После установления стационарного распределения температуры наблюдались колебания границы между фазами вблизи равновесного положения. Колебания возникали лишь при достаточно большом градиенте температуры. Так, при $t_1 = 33^\circ\text{C}$ и $t_2 = 18,5^\circ\text{C}$ и длине кристалла в направлении оси $c \sim 2,5 \cdot 10^{-1}$ см наблюдались незатухающие колебания с частотой порядка одного герца и амплитудой $\sim 0,2 \cdot 10^{-1}$ см. Колебания границы наблюдались непосредственно с помощью микроскопа и, кроме того, регистрировались электрометром, включенным во внешнюю цепь кристалла.

Модель границы двух фаз может служить двойной электрический слой, одной из обкладок которого является связанный заряд сегнето-

электрической фазы, а другой - объемный заряд экранирования толщиной d_3 , локализованный в параэлектрической фазе.

Движение границы во внешнем электрическом поле может быть объяснено в рамках механизма явления Бёра [5,6] или явлений неустойчивости в полупроводниках [7,8]. Как известно, для реализации этого механизма необходимо образование в кристалле области с большой концентрацией поля. В нашем случае этой областью является слой экранирования. Внешнее поле, приложенное к кристаллу, с одной стороны, поляризует сегнетоэлектрическую область, в результате чего образуется слой экранирования, и, с другой стороны, приводит к движению этого слоя. Таким образом, движение сегнетоэлектрической области, изображенное на рисунке, эквивалентно движению электрического домена в полупроводнике. Сказанное еще не определяет конкретного механизма и направления движения границы двух фаз во внешнем поле. Действительно, в рассматриваемом случае движение границы становится возможным не только благодаря перераспределению заряда и поля в объеме полупроводника, но и переходу двух фаз друг в друга. Так, на рисунке движение границ состоит в том, что у первой границы (ближе расположенной к катоду) параэлектрическая фаза переходит в сегнетоэлектрическую, а у второй границы имеет место обратный переход. Возможно, что это обусловлено соответствующим распределением механических напряжений, смещающих точку фазового перехода (растяжение кристалла у первой границы и соответственно сжатие у второй границы).

В рамках предложенной модели получает простое объяснение и второе наблюдавшееся явление - колебание границы двух фаз при наличии градиента температур в отсутствии внешнего поля. Сильное поле в параэлектрической области на границе между фазами сдвигает точку Кюри в область высоких температур, в результате чего граница смещается в сторону нагретого конца кристалла на длину порядка длины экранирования. После перераспределения объемных зарядов в слое экранирования вблизи новой границы должен быть расположен участок сегнетоэлектрической фазы при температуре, превышающей температу-

ру фазового перехода. Это приводит к противоположному смещению границы, после чего процесс повторяется. Из сказанного ясно, что период колебаний должен определяться постоянной времени Максвелла τ_p , а их амплитуда - длиной экранирования и градиентом температуры. Оценка τ_p и α_s для $SbSI$ приводит к значениям $\tau_p \approx 1$ сек, $\alpha_s \approx 3 \cdot 10^{-1}$ см, что согласуется с частотой и амплитудой обнаруженных колебаний. Освещение кристалла, приводящее к фотопроводимости, должно увеличивать частоту колебаний. Перераспределение зарядов в объеме кристалла, сопровождающее колебания границы, приводит к колебаниям тока во внешней цепи (пиротоки).

Институт кристаллографии
Академии наук СССР

Поступило в редакцию
9 сентября 1966 г.

Литература

- [1] А.А.Греков, В.А.Ляховицкая, А.И.Родин, В.М.Фридкин. Докл. АН СССР, 169, 4, 810, 1966.
- [2] В.М.Фридкин, К.Гулямов, В.А.Ляховицкая, В.Н.Носов, Н.А.Тихомирова. ФТТ, 8, 1907, 1966.
- [3] S.Kawada, M.Ida. J.Phys. Soc. Japan, 20, 1287, 1965.
- [4] T.Mori, H.Tamura, E.Sawaguchi. J.Phys. Soc. Japan, 20, 1294, 1965.
- [5] K.W.Вегер, H.J.Hänsch, O.Kümmel. Z.f.Physik, 155, 2, 170, 1959.
- [6] B.I.Adirowitsch. Zs.f.Physik, 155, 2, 195, 1959.
- [7] В.Л.Бонч-Бруевич, Ш.М.Коган. ФТТ, 7, 23, 1965.
- [8] В.Л.Бонч-Бруевич. ФТТ, 8, 6, 1753, 1966.