

СЕГНЕТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ КОНСТАНТЫ ТВЕРДЫХ РАСТВОРОВ
СВИНЕЦ - ГЕРМАНИЙ - ТЕЛЛУР

С. П. Гриневичкина, С. В. Лоховец, А. П. Шотов

УДК 537.311.33

Из измерений $C-V$ и $C-T$ характеристик резких $p-n$ переходов оценены сегнетоэлектрические константы $Pb_{1-x}Ge_xTe$ с содержанием Ge $0,02 \leq x \leq 0,05$. Показано также, что вблизи критической температуры зависимость емкости от смещения определяется законом $C^{-4/3} \sim V$.

Экспериментальные исследования теллуридов Ge , Sn , Pb и твердых растворов на их основе /1-3/ показали, что колебательные спектры и диэлектрическая проницаемость этих материалов обнаруживают характерные для сегнетоэлектриков аномальные зависимости от температуры. Большинство свойств сегнетоэлектриков хорошо объясняется термодинамической теорией /4/, согласно которой свободная энергия кристалла вблизи точки фазового перехода представляется в виде ряда по четным степеням поляризации. Коэффициенты этого разложения определяются обычно из исследований зависимостей поляризации от температуры и электрического поля. В полупроводниковых соединениях типа $A^{IV}B^{VI}$ вследствие большой концентрации свободных носителей, препятствующей проникновению электрического поля в кристалл, прямые измерения поляризации затруднены. Поэтому для определения температурной зависимости диэлектрической проницаемости использовался, в частности, метод измерения емкости $p-n$ перехода /3,5/.

Известно /6,7/, что в сегнетоэлектриках диэлектрическая проницаемость сильно зависит от электрического поля, в особенности, вблизи фазового перехода. В работах /8,9/ указывалось на связанные с этим обстоятельством отклонения емкости резких $p-n$ переходов

дов от закона $C^{-2} \sim V$ при температурах вблизи критической. Здесь C - емкость, $V = U_k - U$, U_k - контактная разность потенциалов, U - смещение р-п перехода. В /10/ проведен расчет емкости р-п перехода с учетом нелинейности диэлектрической проницаемости. На основании результатов этого расчета в настоящей работе из измерений зависимости емкости резких р-п переходов от температуры и смещения оценены сегнетоэлектрические константы $Pb_{1-x}Ge_xTe$.

Фазовый переход от кубической к ромбоэдрической структуре решетки в $Pb_{1-x}Ge_xTe$ с $x < 0,1$ имеет сегнетоэлектрическую природу и является переходом 2-го рода /3, II/. Для сегнетоэлектрического фазового перехода 2-го рода связь между электрическим полем E и поляризацией P имеет следующий вид /4/:

$$E = 2\alpha P + 2\beta P^3,$$

где $\alpha = (2\pi/C_0)(T - T_0)$. Здесь: C_0 - постоянная Кюри-Вейсса, T - температура, T_0 - температура Кюри-Вейсса, β - константа, не зависящая от температуры.

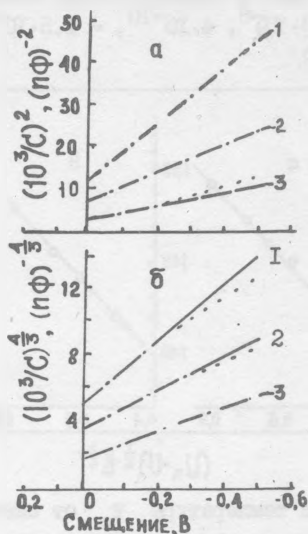
Из расчета /10/, проведенного для случая резкого р-п перехода в полупроводнике-сегнетоэлектрике, следует, что при изменении температуры емкость р-п перехода проходит через максимум вблизи точки фазового перехода. Температура (T_m), соответствующая максимуму емкости, зависит от смещения р-п перехода и определяется выражением:

$$T_m = T_0 + (C_0/8\pi m)(2\beta eNV)^{1/2}, \quad (I)$$

где $N = N_D N_A / (N_D + N_A)$, N_D и N_A - концентрации ионизированных доноров и акцепторов в n- и p-областях соответственно, e - заряд электрона, m - численный коэффициент, равный приблизительно 4,2 /10/. Расчет показал также, что в области температур, достаточно удаленных от T_0 , зависимость емкости от смещения имеет обычный вид: $C^{-2} \sim V$. По мере приближения к точке фазового перехода должны наблюдаться отклонения от этой зависимости и при $T = T_0$ изменение емкости близко к закону $C^{-4/3} \sim V$, а величина емкости находится из соотношения:

$$C(T_0) \approx (1/4)(2eN/\beta)^{1/4} V^{-3/4}. \quad (2)$$

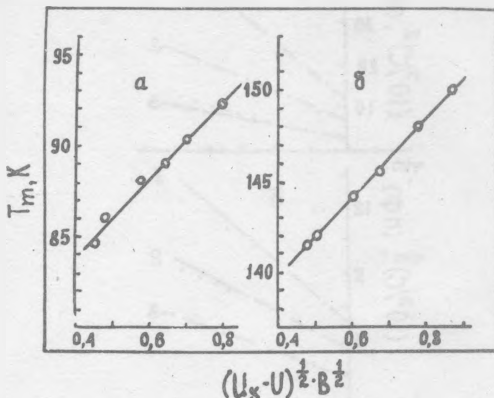
В данной работе измерялись С-V и С-T характеристики резких р-n переходов на основе $\text{Pb}_{1-x}\text{Ge}_x\text{Te}$ с содержанием Ge 0,02 $\leq x \leq 0,05$. Результаты измерений зависимости емкости от



Р и с. 1. Зависимость емкости р-n перехода на основе $\text{Pb}_{0,973}\text{Ge}_{0,027}\text{Te}$ ($T_0 = 76 \text{ K}$) от смещения в координатах C^{-2} -V (а) и $C^{-4/3}$ -V (б) при температурах: 1 - 173 К, 2 - 133 К, 3 - 77 К

смещения при различных температурах иллюстрирует рис. 1, на котором одни и те же экспериментальные точки для р-n перехода на основе $\text{Pb}_{0,973}\text{Ge}_{0,027}\text{Te}$ ($T_0 = 76 \text{ K}$) нанесены в координатах C^{-2} -V (рис. 1а) и $C^{-4/3}$ -V (рис. 1б). Как следует из этого рисунка, вдали от точки фазового перехода от V линейно зависит величина C^{-2} , а вблизи $C^{-4/3}$. Таким образом, экспериментально наблюдаемая зависимость согласуется с предсказанной теоретически в [10] и, следовательно, можно воспользоваться выражением (2) для нахождения константы β . Концентрация носителей в наших образцах была $(3 \pm 9) \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$. Среднее из найденных

по формуле (2) значений β для различных образцов составляет $3 \cdot 10^{-11}$ (СТСЭ (q) / см²)⁻². Для сравнения отметим, что вблизи температуры фазового перехода для кристаллов сегнетовой соли, триглицинульфата, КДР и титаната бария коэффициент β составляет соответственно $3 \cdot 10^{-8}$, $4 \cdot 10^{-10}$, $-1,5 \cdot 10^{-11}$ и $-1,3 \cdot 10^{-13}$ (СТСЭ (q) / см²)⁻² /12/.



Р и с. 2. Зависимость температуры T_m от смещения для образцов $Pb_{0,973}Ge_{0,027}Te$ (а) и $Pb_{0,95}Ge_{0,05}Te$ (б)

Значение постоянной Кюри-Вейсса C_0 , как видно из (1), можно определить из измерений сдвига максимума емкости. В работах /3,8/ уже приводились температурные зависимости емкости p-n переходов на основе $Pb_{1-x}Ge_xTe$ и отмечался сдвиг максимума емкости в сторону больших температур при увеличении смещения. На рис. 2 представлена зависимость температуры, соответствующей максимуму емкости, от величины $v^{1/2}$ для двух образцов. Из рисунка следует, что в пределах точности эксперимента имеет место линейная зависимость T_m от $v^{1/2}$. Как видно из соотношения (1), экстраполяция этой зависимости к $v = 0$ дает значение температуры фазового перехода в нулевом электрическом поле и в отсутствие свободных носителей. Тангенс угла наклона позволяет определить постоянную Кюри-Вейсса, среднее из значений которой для различных

образцов $C_0 = 6 \cdot 10^5$ К, то есть попадает в интервал величин, характерных для сегнетоэлектриков типа смещения, к которым, согласно данным рентгенографических исследований /II/, принадлежит $Pb_{1-x}Ge_xTe$.

Таким образом, в настоящей работе оценены сегнетоэлектрические константы $Pb_{1-x}Ge_xTe$ с содержанием Ge $0,02 < x < 0,05$ и показано, что вблизи критической температуры зависимость емкости резких р-п переходов от смещения определяется законом $C^{-4/3} \sim V$.

Авторы выражают благодарность Б. М. Вуду за постоянный интерес к работе и ценные замечания.

Поступила в редакцию
24 июля 1978 г.

Л и т е р а т у р а

1. F. Steigmeier, G. Harbeke, Solid State Commun., 8, 1275 (1970)
2. S. Sugai, K. Murase, S. Katayama, S. Takaoka, S. Nishi, H. Kawamura, Solid State Commun., 24, 407 (1977).
3. С. П. Гришечкина, С. В. Жоховец, Б. Д. Копыловский, А. П. Шотов, ФТП, 12, II32 (1978).
4. В. Л. Гинзбург, ЖЭТФ, 19, 36 (1949).
5. R. T. Bate, D. L. Carter, J. S. Wrobel, Phys. Rev. Letters, 25, 159 (1970).
6. Б. М. Вул, Электричество, 3, I2 (1946).
7. H. H. Wieder, J. Appl. Phys., 30, 1010 (1959).
8. С. П. Гришечкина, С. В. Жоховец, А. П. Шотов, Краткие сообщения по физике ФИАН, № 6, 34 (1977).
9. С. П. Гришечкина, С. В. Жоховец, А. П. Шотов, Материалы 2-ой Всесоюзной конференции по фазовым переходам металл - диэлектрик, Москва - Львов, 1977 г., стр. 217.
10. Б. А. Волков, С. В. Жоховец, Г. А. Чокпарова, ФТП, 12, 850 (1978).
11. D. K. Hohnke, H. Holloway, S. Kaiser, J. Phys. Chem. Solids, 33, 2053 (1972).
12. И. С. Желудев, Основы сегнетоэлектричества, Атомиздат, М., 1973 г., стр. 445.