

ОБ ЭНЕРГИИ СВЯЗИ НОСИТЕЛЯ ЗАРЯДА С НЕЙТРАЛЬНЫМ ПРИМЕСНЫМ АТОМОМ В ГЕРМАНИИ И КРЕМНИИ

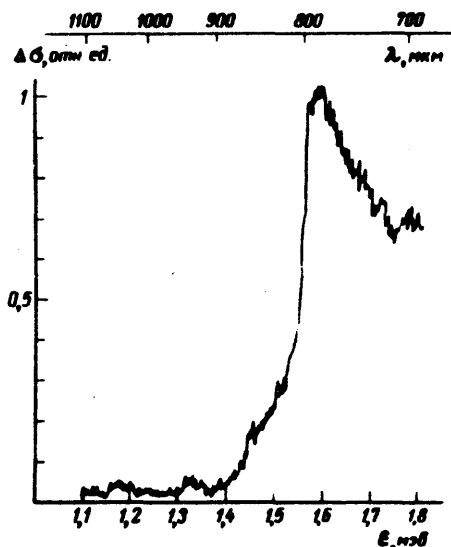
Е. М. Гершензон, Г. Н. Гольцман, А. П. Мельников

В результате присоединения нейтральным донором еще одного электрона или акцептором – лишней дырки в полупроводниках образуются так называемые D^- и A^+ -центры. Их присутствием, по-видимому, могут в определенных условиях определяться механизм проводимости по примесям [1], рассеяние свободных носителей [2], дополнительные линии в спектре люминесценции [3] и другие явления. Однако, эти центры мало изучены, даже размеры области связанного состояния и сечение захвата носителя нейтральным атомом известны лишь ориентировочно. Прямых измерений энергии связи ϵ_1 электрона с нейтральным донором (дырки с нейтральным акцептором) не проводилось. По оценке, приведенной в [4], эта энергия составляет $\sim 1/20$ энергии ионизации нейтрального примесного атома.

Нами энергия ϵ_1 определена непосредственно по длинноволновому краю фотопроводимости при достаточно низких температурах ($kT \ll \epsilon_1$). Эксперимент проводился в диапазоне волн $\lambda = 2000 - 250$ мкм при $T = 1,5 - 4,2^\circ\text{K}$ на образцах Ge и Si n - и p -типов проводимости с концентрацией мелких примесей $10^{12} + 10^{15}$ см $^{-3}$. В качестве источников излучения применялись лампы обратной волны субмиллиметрового диапазона [5], дающие возможность получить уровень мощности на исследуемом образце до 100 мкВт при степени монохроматичности $\lambda/\Delta\lambda = 10^5$. Их перестройка в широкой полосе частот при столь значительной для этого диапазона волн мощности излучения позволяет проводить спектральные исследования фотопроводимости, вызванной ионизацией центров, концентрация которых мала [6].

Для изучения D^- (A^+) центров в слабо легированных полупроводниковых материалах нами использовались либо некомпенсированные образцы, где значительная часть примесей при низкой температуре находится в нейтральном состоянии, а свободные носители создаются фоновым излучением, либо образцы с любой компенсацией основной примеси в присутствии межзонного подсвета, нейтрализующего ионизованные примесные центры.

На рисунке в качестве примера приведен спектр фотопроводимости $\Delta\sigma$ образца германия с мышьяком ($N_D = 5 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-3}$, $N_A = 10^{13} \text{ см}^{-3}$) при $T = 1,5^\circ\text{К}$. Отчетливо видна длинноволновая граница фотопроводимости: $\Delta\sigma$ при $\lambda \gtrsim 900 \text{ мкм}$ приблизительно в 20 раз меньше $\Delta\sigma_{\text{max}}$.



В таблице даны значения энергии связи $D^-(A^+)$ центров для Ge и Si, легированных различными примесями, где ϵ_1 определялась как энергия, соответствующая $1/2\sigma_{\text{max}}$ (см. рисунок). Там же приведены данные об энергиях ионизации соответствующих примесей (указывается основное состояние – синглет) [7 – 10]. Для Si: В само значение ϵ_1 не могло быть измерено, так как на коротковолновой границе использованного спектрометра (5 мэв) рост сигнала фотопроводимости $\Delta\sigma$ только начинается.

	Ge: Sb	Ge: P	Ge: As	Ge: Ga	Si: P	Si: B
$\epsilon_{D^-(A^+), \text{мэв}}$	0,95	1,2	1,55	2,4	2,2	$\gtrsim 5$
$\epsilon_{D^0(A^0), \text{мэв}}$	10,2	12,8	14	11	45,3	46

Свидетельством того, что полученные значения длинноволновой границы фотопроводимости соответствуют энергии связи ϵ_1 $D^-(A^+)$ центров, являются следующие экспериментальные результаты:

1. В образцах с малой компенсацией основной примеси (< 5%) в отсутствие межзонного подсвета отчетливо наблюдается длинноволновая граница фотопроводимости, в то время как на сильно компенсированных образцах она проявляется лишь при подсвете.

2. Полученные значения ϵ_1 существенно зависят от рода примеси и коррелируют с величиной глубины залегания основного состояния соответствующей примеси.

3. В образцах с концентрацией примесей $\lesssim 10^{12} \text{ см}^{-3}$ длинноволновая граница фотопроводимости не наблюдается даже при максимальном подсвете.

Отметим, что величина фотопроводимости при $\epsilon > \epsilon_1$, растет с понижением температуры, увеличением концентрации примесей и уровня под-света.

Авторы выражают признательность Ю.П.Ладыжинскому и Н.Г.Птиц-ной за обсуждение результатов работы.

Московский
государственный педагогический
институт
им. В.И.Ленина

Поступила в редакцию
5 июля 1971 г.

Литература

- [1] E.A.Davis, W.D.Compton. Phys. Rev., 140, A2183, 1965.
 - [2] A.Honig. 13th Int. conf. Phys. semicond, 1970 , Boston Extended Abstracts FAC - 2
 - [3] P.I.Dean, I.R.Haynes, W.F.Flood. Phys. Rev., 161, 711, 1967.
 - [4] M.A.Lampert. Phys. Rev. Lett., 1, 450, 1958.
 - [5] М.Б.Голант, Р.Л.Виленская, Е.А.Зюлина, З.Ф.Каплун, А.А.Мегирев, В.А.Парилов, Г.Б.Ребров, В.С.Савельев. ПТЭ, 4, 136, 1965
 - [6] Е.М.Гершензон, Г.Н.Гольцман. Письма в ЖЭТФ , 14, 98, 1971.
 - [7] I.H.Reuzer , P.Fisher. Phys. Rev., 135, A1125, 1964.
 - [8] R.A.Iones, P.Fisher, J. Phys. Chem. Sol., 26, 1125, 1965.
 - [9] R.L.Aggarwal, A.K.Ramdas. Phys. Rev., 140, A1246, 1965.
 - [10] H.I.Hrostowski, R.H.Kaiser. J. Phys. Chem. Sol., 4, 148, 1958.
-