

ЭЛЕКТРОПОГЛОЩЕНИЕ В КАРБИДЕ КРЕМНИЯ, ЛЕГИРОВАННОМ БОРОМ,
ПРИ УЛЬТРАФИОЛЕТОВОЙ ПОДСВЕТКЕ

В. С. Бавилов, Л. В. Демьянчик, Е. А. Конорова, Е. Б. Степанова

Уд. 535.332:539.219.1

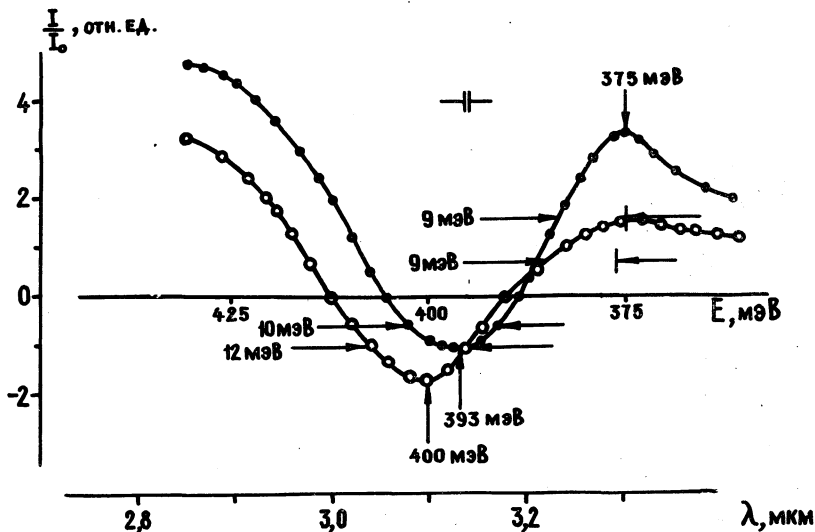
На основании изменения в зависимости от подсветки вида спектра электропоглощения бора в карбиде кремния политипов 6Н и 15R оценена величина внутреннего поля, возникающего благодаря наличию ионизованных примесей.

Для физики полупроводников метод электропоглощения интересен тем, что в принципе позволяет с высокой точностью определить энергию ионизации примеси, что трудно сделать по данным для оптического поглощения. Теоретически спектр изменения мнимой части диэлектрической проницаемости, обусловленной наличием примесных центров, для не слишком больших внешних полей получен в явном виде /1,2/. Но интерпретация экспериментальных спектров электропоглощения на практике оказывается трудной. Экспериментальные спектры обычно не соответствуют теории электропоглощения. Одна из причин этого может заключаться во влиянии хаотических внутренних полей, возникающих в кристалле из-за наличия неконтролируемых примесей /3/.

В легированных образцах карбида кремния р-типа кроме основной примеси всегда есть остаточные и неконтролируемые примеси, в частности азот с концентрацией не меньше 10^{16} ат/см³, дающий ионизованные донорные уровни. При низкой температуре ионизованные доноры и акцепторы являются центрами прилипания с большим временем жизни носителя на центре /4/. Учитывая последнее, мы воздействовали на внутреннее хаотическое поле ионизованных центров в кристалле путем заполнения донорных уровней подсветкой в области длин волн, соответствующих переходам зона-зона.

Исследовались образцы карбида кремния политипов 6Н и 15R, легированные бором равномерно по объему; концентрации акцепторов и доноров составляли соответственно $10^{17} + 10^{18}$ ат/см³ и $10^{16} + 10^{17}$ ат/см³; $\mu = 30 + 40$ см²/В.сек, $\rho = 100 + 200$ ом.см.

Образцы вырезались из кристаллов, выращенных по методу Лели, в виде плоскопараллельных пластинок толщиной 130 ± 200 мкм по плоскости, нормальной к оси \bar{C} , и полировались с обеих сторон.



Р и с. 1. Спектр электропоглощения карбида кремния, легированного бором: \circ - без подсветки, \bullet - с подсветкой

Контакты были омические, наносились на расстоянии не менее 2 мм.

Внешнее синусоидальное напряжение имело частоту 100 гц, сигнал электропоглощения регистрировался на второй гармонике методом фазового детектирования.

Спектр электропоглощения снимался в области энергий фотонов, соответствующей возбуждению акцептора (бора), т.е. в области $0,35 \pm 0,45$ эВ. Спектральная ширина щели монохроматора не превышала 3 мэВ, а ее изображение на образце - 100 мкм. Поэтому прикладываемое поле $1,3 \cdot 10^4$ В/см было почти однородным в области освещения образца. Во время измерений образец находился в азотном кристате при температуре $\approx 100^\circ\text{K}$. Ультрафиолетовый свет подсветки фокусировался на образце в области изображения щели. Полоса спектра шириной (35 ± 40) нм в окрестности 436 нм вырезалась

набором фильтров. Коэффициент поглощения света кристаллом составлял около 100 см^{-1} .

На рис. I изображены спектры электропоглощения карбида кремния, легированного бором, без подсветки и при ультрафиолетовой подсветке в неполяризованном свете. В обоих случаях спектры состоят из положительного максимума несимметричной формы при $E = 0,375 \text{ эВ}$ и отрицательной компоненты. Положительный максимум при подсветке не смещается, но форма его существенно меняется; длинноволновый спад становится более резким, исчезает некоторая распычатость вершины, характерная для спектра без подсветки, относительная интенсивность его увеличивается. Отрицательная компонента в спектре без подсветки находится при $0,400 \text{ эВ}$. При подсветке она смещается в длинноволновую сторону, полуширина ее незначительно уменьшается, относительная интенсивность падает. Сдвиг отрицательной компоненты в длинноволновую сторону, согласно теории, соответствует уменьшению действующего поля. Такое изменение формы спектра с подсветкой доказывает, что отрицательная компонента действительно является первым максимумом осциллирующей компоненты сигнала электропоглощения бора, как это было предположено в работе /3/. Спектр осциллирующей компоненты с коротковолновой стороны от первого отрицательного пика не удалось выделить, поскольку, начиная с $0,43 \text{ эВ}$ в спектре электропоглощения доминирует интенсивная полоса, обусловленная неконтролируемыми примесями; ее структура в данной работе не обсуждается.

Предполагая, что потенциал примесного центра можно представить в виде δ -функции, а структура уровня определяется только одной изотропной валентной зоной с эффективной массой плотности состояний для дырок $m_h^* = 1,5m_0$ /5/, воспользуемся результатами работы /2/ для оценки изменения величины электрического поля \vec{E} в образце, соответствующего сдвигу отрицательной компоненты в спектре электропоглощения при подсветке. Оказывается, что без подсветки поле равно $2 \cdot 10^5 \text{ В/см}$, а при подсветке его величина уменьшается в два раза и составляет 10^5 В/см . Для боровского радиуса центра в этой модели получается величина порядка 3 \AA , что свидетельствует о сильной локализации дырки на примесном центре и согласуется с выводами работы /6/. Если даже предположить, что радиус центра несколько больше полученного, и равен, например, двум постоянным решетке, то поля в образце без подсветки и с под-

светкой будут соответственно равны $3 \cdot 10^4$ В/см и $1,5 \cdot 10^4$ В/см, что все еще больше, чем внешнее поле $1,3 \cdot 10^4$ В/см. Поэтому наблюдаемая форма спектра электропоглощения соответствует в основном действию внутренних полей, а внешнее поле лишь модулирует их.

При изменении концентрации бора в образцах на порядок, от 10^{17} до 10^{18} ат/см³, положительный максимум и отрицательная компонента сдвигаются на 4 - 5 мэв, что может объясняться концентрационной зависимостью положения уровня бора. Однако возбуждение кристалла ультрафиолетовым светом во всех случаях приводило к сдвигу осцилляций в длинноволновую сторону и аналогичным описанным выше изменениям спектра.

Изменений в виде спектра в зависимости от политипа не наблюдалось.

В заключение нужно отметить, что именно характер изменения спектра при ультрафиолетовой подсветке позволил полностью объяснить наблюдаемую форму спектра электропоглощения бора и доказать, что существование сильных внутренних полей в карбиде кремния связано с наличием примесей.

Поступила в редакцию
3 января 1977 г.

Л и т е р а т у р а

1. В. С. Виноградов, ФТТ, 13, 3266 (1971).
2. Y. Hamakawa, T. Nishino, "Recent advances in modulation spectroscopy", North-Holland Publishing Co, 1977.
3. Д. В. Демьянчик, Т. А. Каратыгина, Е. А. Конорова, ФТП, 9, 1368 (1975).
4. О. В. Вакуленко, О. А. Говорова, ФТТ, 14, вып. 12, 3484 (1972).
5. Г. А. Ломакина, Кандидатская диссертация. Ленинград, 1968 г.
6. H. H. Woodbury, G. W. Ludwic, Phys. Rev., 124, N 4, 1083 (1961).