

заданных концентрации доноров и параметрах излучения (вид излучения, энергия частицы, интенсивность).

Авторы глубоко признательны О. А. Усову за составление программы графического построения номограммы на ЭВМ, а также В. Л. Винецкому за обсуждение статьи.

Л и т е р а т у р а

- [1] Витовский Н. А., Абдусаттаров А. Г., Емцев В. В., Машовец Т. В., Полоскин Д. С. — ФТП, 1987, т. 21, в. 10, с. 1826—1831.
- [2] Емцев В. В., Машовец Т. В. — Письма ЖЭТФ, 1971, т. 13, в. 12, с. 675—679.
- [3] Абдусаттаров А. Г., Емцев В. В., Машовец Т. В. — Письма ЖТФ, 1986, т. 12, в. 23, с. 1461—1463.
- [4] Арифов П. У., Арутюнов Н. Ю., Емцев В. В. — ФТП, 1981, т. 15, в. 8, с. 1550—1556.
- [5] Арутюнов Н. Ю., Емцев В. В., Рубинова Э. Э., Трошаков В. Ю. — ФТП, 1986, т. 20, в. 3, с. 552—555.
- [6] Ершов С. Н., Пантелеев В. А., Нагорных С. Н., Черняховский В. В. — ФТТ, 1977, т. 19, в. 1, с. 322—323.

Физико-технический институт
им. А. Ф. Иоффе АН СССР
Ленинград

Получено 21.07.1987
Принято к печати 1.02.1988

ФТП, том 22, вып. 8, 1988

АКУСТОЭЛЕКТРОННОЕ ЗАТУХАНИЕ В УСЛОВИЯХ НЕСТАЦИОНАРНОЙ ФОТОПРОВОДИМОСТИ В СУЛЬФИДЕ КАДМИЯ

Миргородский В. И., Пешин С. В.

В работе [1] было предложено использовать акустоэлектронное затухание для измерения объемной и поверхностной электропроводностей кристаллов пьезополупроводников. Данное сообщение посвящено применению этого метода для исследования кинетики изменения проводимости фоточувствительных кристаллов сульфида кадмия в нестационарных условиях во время переходных процессов при резком включении и выключении подсветки, возбуждающей фотопроводимость.

Экспериментальная установка была подобна использованной в работе [2]. Измерение электрических импедансов образцов осуществлялось посредством измерения комплексных коэффициентов передачи делителя на частоте звука 18 МГц, где в качестве одного из сопротивлений использовались исследуемые кристаллы, а в качестве другого — сопротивление 50 Ом.

Эксперименты выполнялись на образцах монокристаллического фоточувствительного сульфида кадмия размерами $3 \times 2 \times 1$ мм с применением сдвиговой акустической волны, распространяющейся перпендикулярно гексагональной оси \hat{c} со смещениями вдоль \hat{e} . Электропроводность образцов изменялась с помощью освещения их лампой накаливания через стандартные светофильтры типа ЗС-2+СЗС-24. Для быстрого прерывания света использовался центральный фотографический затвор с временем срабатывания около 1 мс, что меньше самого малого времени релаксации фотопроводимости исследуемых кристаллов, составляющего ~ 10 мс.

Эксперименты проводились следующим образом. После предварительной 5-минутной выдержки образца в темноте включалась подсветка, и во время переходного процесса осуществлялась регистрация мощности прошедшего через образец звука, а также действительной и мнимой частей проводимости образца. После окончания процесса регистрации, занимающего обычно не более 0.1 с, образец выдерживался при освещении в течение 5 мин, а затем производилось выключение подсветки с регистрацией тех же параметров, что и при включении.

Результаты для трех типичных образцов представлены на рис. 1. Стрелки на кривых показывают направление изменения проводимости кристаллов во время измерений. Из рис. 1 видно, что при увеличении проводимости кристаллов мощность прошедшего через кристаллы звука, как это характерно для акустоэлектронного взаимодействия, проходит через минимум как при увеличении проводимости, так и при ее уменьшении. Отличие приведенных зависимостей друг от друга состоит, как видно, в разном характере наблюдаемого на них гистерезиса. В частности, на рис. 1, *a* кривая, соответствующая увеличению проводимости, имеет более глубокий минимум, чем аналогичная зависимость, полученная при уменьшении проводимости. На рис. 1, *б* гистерезиса с точностью до экспериментальных погрешностей не зафиксировано. На рис. 1, *в* наблюдается гистерезис, однако в отличие от зависимостей на рис. 1, *a* кривая, полученная при уменьшении проводимости, располагается ниже зависимости, полученной при увеличении проводимости. Следует отметить, что отсутствие гистерезиса (рис. 1, *б*) наблюдается сравнительно редко, чаще наблюдается гистерезис типа приведенного на рис. 1, *a*.

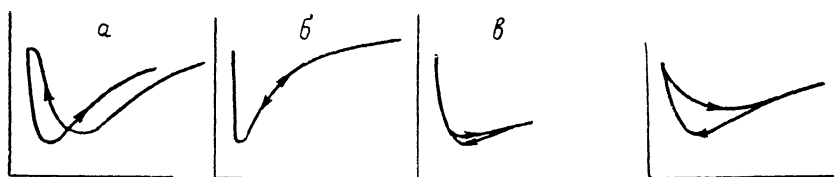


Рис. 1.

Рис. 2.

Наиболее вероятной и распространенной причиной аномалий акустоэлектронного взаимодействия в сульфиде кадмия является электрическая неоднородность кристаллов [3]. Поэтому и в рассматриваемом случае разумно предположить, что наблюдаемые гистерезисные явления связаны с изменениями электрической однородности кристаллов в условиях нестационарной фотопроводимости. При этом, как вытекает из [4, 5], чем хуже однородность кристаллов, тем менее эффективно акустоэлектронное взаимодействие и тем меньше затухание звука.

Такие представления подтверждаются и зависимостями рис. 1, поскольку наилучшее приближение величины максимального затухания к предельно достижимому значению, соответствующему однородному пьезополупроводнику, наблюдается в кристалле (рис. 1, *б*), в котором аномалий акустоэлектронного взаимодействия фактически нет. Причиной электрической неоднородности кристаллов в условиях фотопроводимости, как хорошо известно, может быть неоднородность в объеме кристалла эффективности процессов генерации и рекомбинации носителей заряда. Причем если неоднородность генерации может быть связана как с неоднородностью подсветки, так и с неоднородностью кристаллов, то неоднородность рекомбинации связана только лишь с неоднородностью кристалла. Это обстоятельство позволяет осуществить проверку вышеизложенного путем применения неоднородной подсветки кристалла, у которого при однородной подсветке гистерезис практически отсутствовал (рис. 1, *б*). Результат такого эксперимента представлен на рис. 2, где отчетливо виден появившийся гистерезис. Причем при включении подсветки реализуется меньшее затухание, чем при выключении: именно такое поведение и должно быть в случае неоднородного процесса генерации и более однородного процесса захвата носителей заряда.

Еще одним экспериментом, подтверждающим правильность приведенных выше предположений о природе наблюдаемых явлений, может быть измерение комплексных сопротивлений кристаллов при включении и выключении подсветки. Объем краткого сообщения не позволил привести результаты измерений, сделанных на тех же образцах, однако их сопоставление с результатами акустических экспериментов, приведенных на рис. 1, показывает, что переходным процессам с менее эффективным акустоэлектронным затуханием соответствуют электрические импедансы с большими значениями мнимой части проводимости.

Это находится в соответствии с результатами работ [4, 5], выполненных в режиме статического изменения проводимости кристаллов.

Таким образом, приведенные экспериментальные результаты свидетельствуют о том, что в условиях нестационарной фотопроводимости акустоэлектронное затухание имеет аномалии, которые, как показано, возникают из-за изменения электрической однородности образцов. Такое поведение может быть понято на основе следующих простых представлений. Пусть, как реализовано в эксперименте (рис. 1, а), механизм генерации носителей заряда практически однороден, а механизм рекомбинации не однороден. Тогда в первый момент после резкого включения подсветки, когда еще не успела установиться фотопроводимость, распределение носителей заряда определяется в основном процессом генерации, который однороден в пространстве, а процесс рекомбинации и, следовательно, его неоднородность еще не проявляются. Иное дело после выключения подсветки: распределение количества носителей заряда определяется в основном процессом рекомбинации. Если он не однороден в пространстве, то количество носителей заряда будет в большей мере не однородно, чем, скажем, в случае со стационарной подсветкой, когда имеется однородная генерация носителей заряда и, кроме того, происходит некоторое выравнивание концентрации в пространстве за счет диффузии.

Л и т е р а т у р а

- [1] Васькова В. И., Викторов И. А., Талашев А. А. — Акуст. журн., 1976, т. 22, в. 1, с. 17—28.
- [2] Аветисян А. А., Миргородский В. И. — ФТП, 1986, т. 20, в. 1, с. 35—39.
- [3] White D. L. — In: Proc. 4 Int. Congr. Acoustics. Copenhagen, 1962, p. 321—323.
- [4] Гитис М. Б., Чайковский И. А. — ЖЭТФ, 1981, т. 81, в. 1, с. 263—275.
- [5] Кетис Б.-П., Кривка И. — ФТП, 1986, т. 20, в. 7, с. 1153—1159.

Институт радиотехники
и электроники АН СССР
Москва

Получено 31.08.1987
Принято к печати 5.02.1988

ФТП, том 22, вып. 8, 1988

ВОЗБУЖДЕННЫЕ СОСТОЯНИЯ АКЦЕПТОРОВ В АЛМАЗЕ В ПРИБЛИЖЕНИИ ЭФФЕКТИВНОЙ МАССЫ

Стружкин В. В., Еремец М. И.

Спектры инфракрасного поглощения природных полупроводниковых алмазов изучены весьма подробно [1-3]. Однако практически во всех работах вклад решеточного поглощения не отделялся от примесного поглощения, хотя очевидно, что лишь такая процедура позволила бы получить истинный спектр примеси. Изучая синтетические полупроводниковые алмазы, легированные бором в широком диапазоне концентраций, мы вычли вклад решетки из общего поглощения. Методика измерений и предварительные результаты опубликованы нами ранее [4].

На спектр поглощения образца *p*-типа с концентрацией бора $2 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$, изображенном на рисунке, кроме известных пиков примесного поглощения при 0.305, 0.348 и 0.363 эВ, хорошо заметен пик поглощения при 0.291 эВ. После вычитания вклада решетки спектр примесного поглощения имеет характерный вид. На спектре четко выражены четыре пика поглощения, причем интенсивность поглощения при 0.291 эВ коррелирует с интенсивностью остальных пиков примесного поглощения, что видно из сравнения спектров образцов с различной концентрацией бора. Все четыре экспериментально наблюдаемых состояния можно описать в приближении эффективной массы [5, 6]. При этом мы воспользуемся результатами теории для случая нулевого спин-орбитального