

ЗАВИСИМОСТЬ СИГНАЛА ЭЛЕКТРОПОГЛОЩЕНИЯ ОТ ВЕЛИЧИНЫ
ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ В КРИСТАЛЛАХ ВЫСОКООМНОГО
КОМПЕНСИРОВАННОГО GaAs

А. Н. Георгобiani, Д. Н. Иванов, П. А. Толпа *)

УДК 621.315.592

Исследуется электропоглощение света в кристаллах высокоомного компенсированного GaAs применительно к высоковольтной метрологии. Экспериментальные результаты интерпретируются в рамках модели, предполагающей наличие внутрикристаллического ориентированного электрического поля, обусловленного заряженными примесями. Показана возможность применения линейного электропоглощения для определения переменных и импульсных высоких напряжений.

Получение полупроводниковых кристаллов с высоким удельным сопротивлением, приближающимся к сопротивлению диэлектриков, позволило использовать эти кристаллы в качестве чувствительных элементов оптоэлектронных устройств для измерения высоких напряжений /1/. В связи с этим представляет интерес вид зависимости сигнала электропоглощения от величины приложенного электрического поля.

В работе исследовались плоскопараллельные образцы компенсированного GaAs размерами $0,2 \times 3 \times 4$ мм³, имеющие при $T = 300$ К удельное сопротивление $\sim 10^8$ Ом·см. Кристаллы были получены по методу Бриджмена. Легирование хромом, производимое в процессе выращивания, позволило скомпенсировать мелкие доноры, которые обычно содержатся в кристаллах GaAs, выращенных методами Чохральского либо Бриджмена. Концентрация доноров и акцепторов состав-

*) Всесоюзный научно-исследовательский институт метрологической службы (ВНИИМС)

ляла $\sim 10^{17}$ см⁻³. Тип проводимости, определяемый по знаку термоэдс, был электронный. Поверхности 3×4 мм² (ориентированные параллельно плоскости ПЮ) были механически отполированы, после чего кристаллы в течение Ю - Ю5 с травились в полирующем травителе HF : H₂O : HNO₃ (1 : 2 : 3).

Измерения производились при температуре жидкого азота. Длина волны падающего света составляла 848 нм, что соответствует области края собственного поглощения полупроводника. Направление приложенного электрического поля $E_{\text{п}}$ было перпендикулярно направлению распространения света.

Пропускание T плоскопараллельного полупроводникового образца в пренебрежении многократным отражением связано с коэффициентом поглощения α формулой:

$$T = (1 - R)^2 \exp(-\alpha d). \quad (1)$$

Здесь R - коэффициент отражения от поверхности образца, d - толщина образца. Изменение коэффициента поглощения под действием, например, электрического поля, вызывает изменение пропускания:

$$\Delta T/T = 1 - \exp(-\Delta \alpha d). \quad (2)$$

В случае $\Delta T/T \ll 1$ формула (2) принимает вид:

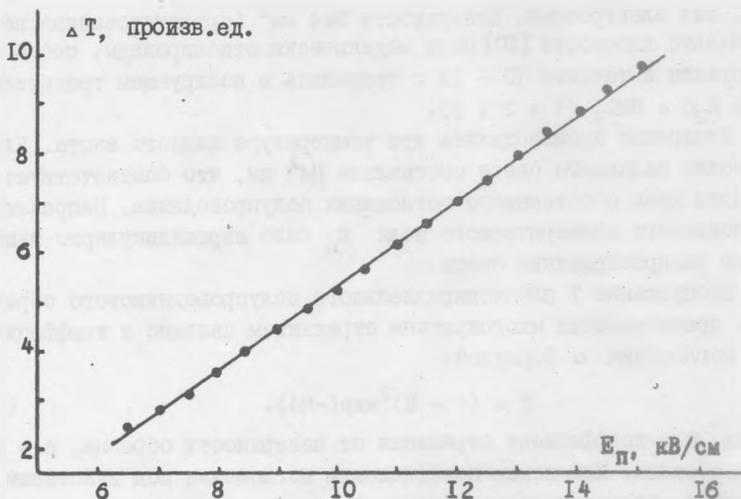
$$\Delta T/T \approx \Delta \alpha d. \quad (3)$$

На рис. 1 приведена зависимость изменения пропускания ΔT кристалла от величины приложенного электрического поля $E_{\text{п}}$. Частота изменения электрического поля в образце была 10^3 Гц. Регистрация сигнала электропоглощения производилась методами дифференциальной спектроскопии /2/. Как видно из рис. 1, зависимость изменения пропускания ΔT от поля описывается законом, близким к линейному:

$$\Delta T \propto E_{\text{п}}, \quad (4)$$

а не законом $\Delta T \propto E^{1/3}$, следующим из теоретических положений /3/.

Отличие наблюдаемой зависимости $\Delta T(E)$ от предсказаний теории можно объяснить, если предположить наличие в кристалле внутреннего ориентированного электрического поля $E_{\text{в}}$, превышающего внешнее $E_{\text{п}}$, в которое помещался образец /4/. Это предположение оправдывается тем, что вследствие компенсации донорные и акцепторные центры оказываются заряженными. Величина поля, обусловленная



Р и с. I. Зависимость изменения пропускания ΔT от напряженности приложенного электрического поля E_n

этими заряженными центрами, на $I + 2$ порядка превышает внешнее поле /5/. Таким образом, в формировании сигнала электропоглощения участвует не только внешнее, но и внутреннее поле. Изменение коэффициента поглощения $\Delta\alpha$ тогда можно представить в виде:

$$\Delta\alpha = \alpha(E_c) - \alpha(E_b), \quad (5)$$

где $E_c = E_n + E_b$. Уравнение (5) можно переписать так:

$$\begin{aligned} \Delta\alpha &= [\alpha(E_c) - \alpha(0)] - [\alpha(E_b) - \alpha(0)], \\ \Delta\alpha &= \Delta\alpha(E_c) - \Delta\alpha(E_b). \end{aligned} \quad (6)$$

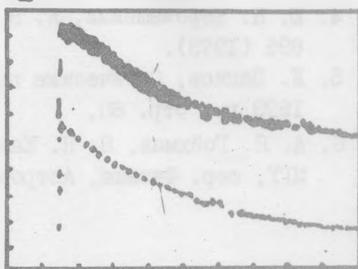
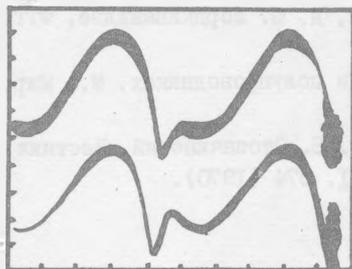
Здесь $\alpha(0)$ — коэффициент поглощения при отсутствии поля в полупроводнике. Для каждого члена в правой части (6) выполняется закон $\Delta\alpha \propto E^{1/3}$, т.е.: $\Delta\alpha(E_c) \propto E_c^{1/3}$; $\Delta\alpha(E_b) \propto E_b^{1/3}$, поэтому $\Delta\alpha \propto E_c^{1/3} - E_b^{1/3}$, или $\Delta\alpha \propto (E_b + E_n)^{1/3} - E_b^{1/3}$. Учитывая, что $E_n \ll E_b$, получим: $\Delta\alpha \propto E_b^{-2/3} E_n$, что при постоянном во времени внутреннем поле E_b дает:

Из выражений (7) и (3) следует зависимость (4).

Линейность электропоглощения позволяет использовать этот эффект для определения переменных и импульсных высоких напряжений,

E_D , (2 кВ/см)/дел

E_D , (2 кВ/см)/дел



а t , 10^{-4} с/дел

б t' , 10^{-5} с/дел

Р и с. 2. Осциллограммы переменного (а) и импульсного (б) высоких напряжений (нижние кривые) и сигналов с фотоприемника (верхние кривые)

не прибегая к дополнительной обработке результатов. Верхняя граница полосы частот измеряемых устройством напряжений определяется, в частности, скоростью изменения пропускания T кристалла при изменении в нем электрического поля. Физический предел скорости такого изменения обусловлен временем туннелирования электрона в запрещенную зону, что в полях $10^3 - 10^4$ В/см составляет $10^{-12} - 10^{-13}$ с/6/.

На рис. 2 представлены осциллограммы высоких напряжений, полученные с емкостного делителя (нижние кривые) и сигналов с фотоприемника, на который падал свет, прошедший через кристалл (верхние кривые). Как видно из рисунков, наблюдаемая форма фотооткликов находится в хорошем соответствии с формой измеряемых напряжений.

Поступила в редакцию
15 ноября 1978 г.

Л и т е р а т у р а

1. Э. Н. Журавлев, Л. Н. Иванов, Ю. Н. Куземченко, Е. Ф. Решникова, П. А. Тодуа, изв. АН СССР, сер. Энергетика и транспорт, № 3, 27 (1978).
2. М. Кардона, Модуляционная спектроскопия, М., Мир, 1972 г.
3. D. E. Aspnes, Phys. Rev., 147, 554 (1966).
4. Ю. Н. Берозашвили, А. В. Дундуа, Д. Ш. Лордкипанидзе, ФТТ, 15, 895 (1973).
5. Ж. Панков, Оптические процессы в полупроводниках, М., Мир, 1973 г., стр. 60.
6. А. Я. Гойдман, В. Н. Калинин, В. Б. Стопачинский, Вестник МГУ, сер. Физика, 11, 574 (1970).