

УДК 621.315

НЕСПАДАЮЩАЯ ПРОВОДИМОСТЬ В GaP:S ПРИ НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУРАХ

Г. Е. Зардас¹, П. К. Евфимиу¹, Д. Е. Феодору¹, Ф. Рис², Х. И. Симсонидес¹,
Б. Сентпали², В. С. Вавилов

Измерялась фотопроводимость на образцах n-GaP:S с ортогональными контактами, изготовленными из AuGe/Ni и отстоящими друг от друга на 5.5 мкм. Измерения фототока при освещении с длиной волны $\lambda = 570$ нм, соответствующей ширине запрещенной зоны ($E_g = 2.175$ эВ) при 200 К, показали, что фототок увеличивается и стремится к насыщению. После прекращения освещения ток медленно уменьшается и стремится к постоянному значению как при 200, так и при 250 К. Полученные результаты свидетельствуют о существовании неспадающей фотопроводимости, которая обнаружена в этой работе впервые в объемных материалах.

Неспадающая фотопроводимость обнаружена во многих полупроводниках. Это явление может рассматриваться как эффект памяти. Явления медленной релаксации избыточной электропроводности, инициированной световым или электронным пучком, анализировались в работах [1, 2]. Обзор многочисленных работ в этой области, опубликованных к 1976 г., дан в [3]. В настоящее время предложены две модели, применимых для анализа рассматриваемого явления. Первоначальная модель, детально проанализированная в работах [1] и [2], основана на представлении о захвате носителей заряда микроскопическими дефектами или комплексами. В альтернативной модели [3] рассматриваются барьеры объемного заряда, расположенные в приповерхностном

¹Отделение твердого тела, Физический факультет, Афинский университет, Афины, Греция.

²Научно-исследовательский институт технической физики, Будапешт, Венгрия.

слое полупроводника, и окружающие кластеры дефектов, которые возникли в объеме при кристаллизации или при облучении тяжелыми ионами [4, 5]. Подробные данные о неспадающей фотопроводимости в слоях $GaAs$, содержащих макроскопические потенциальные барьеры, были получены в работах [6] и [7]. Такие барьеры всегда окружают области с отличающимися свойствами. Локальные неоднородности существуют и в объеме материала, там, где концентрация дефектов или примесей намного превышает соответствующую концентрацию в среднем по объему. Модель неспадающей фотопроводимости, обусловленной кластерами дефектов, была предложена в работе [8]. Эта модель основана главным образом на представлении о том, что потенциальный барьер, окружающий кластер дефектов, пространственно разделяет фотогенерированные носители заряда, за счет чего их рекомбинация замедляется.

Недавняя публикация [9] содержит дополнительную информацию о моделях неспадающей фотопроводимости. В последнее время мы впервые получили данные [10] о неспадающей фотопроводимости в объемных кристаллах $GaP:S$ при комнатной температуре и связали это явление с существованием кластеров дефектов в объеме материала, как это уже предполагалось в случае слоев $GsAs$ [6, 7]. В работе [10] получены также данные о влиянии облучения α -частицами; эти данные подтверждают наше предположение о существовании кластеров.

В данной работе мы впервые исследовали кинетику нарастания и спада неспадающей фотопроводимости, связываемой нами с существованием кластеров дефектов, в объемных кристаллах $GaP:S$ при температурах 200 K и 250 K.

Измерения проводились на двух образцах $n-GaP:S$, вырезанных из той же пластины, что и в [10], и имеющих концентрацию электронов $n = 4.3 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$, подвижность $117 \text{ см}^2 \text{ В}^{-1} \text{ с}^{-1}$ и удельное сопротивление $\rho = 0.12 \text{ Ом} \cdot \text{см}$. При температуре 400°C были сформированы два ортогональных контакта из $AuGe/Ni$ (без мезоструктуры) на расстоянии 5.5 мкм. Эти контакты были изготовлены в Научно-исследовательском институте технической физики в Будапеште. Образцы помещались в криостат криогенной установки, работающей на циркулирующем газообразном He и изготовленной Air Products Co. Окошко криостата было покрыто пленкой из майлара толщиной 25 мкм. Оптическая система состояла из небольшой 250-Вт галогенной лампы с внешним сферическим зеркалом и малогабаритного монохроматора фирмы Oriel Optics.

Пучок света направлялся по нормали на поверхность с двумя контактами; плотность потока фотонов поддерживалась постоянной для каждой длины волны во время измерений. Фототок измерялся электрометром Keithle 617. Измерения проводились при

температурах 200 и 250 К.

Обычная процедура исследований неспадающей фотопроводимости заключается в измерениях фототока после прекращения освещения, соответствующего определенному интегральному потоку фотонов. В отличие от этого, мы проводили измерения во время освещения, поскольку весьма низкая интенсивность нашего источника света не могла вызвать сколько-нибудь значительный фототок, если бы в образце не происходило накопления фотовозбужденных носителей заряда с очень большим временем жизни.

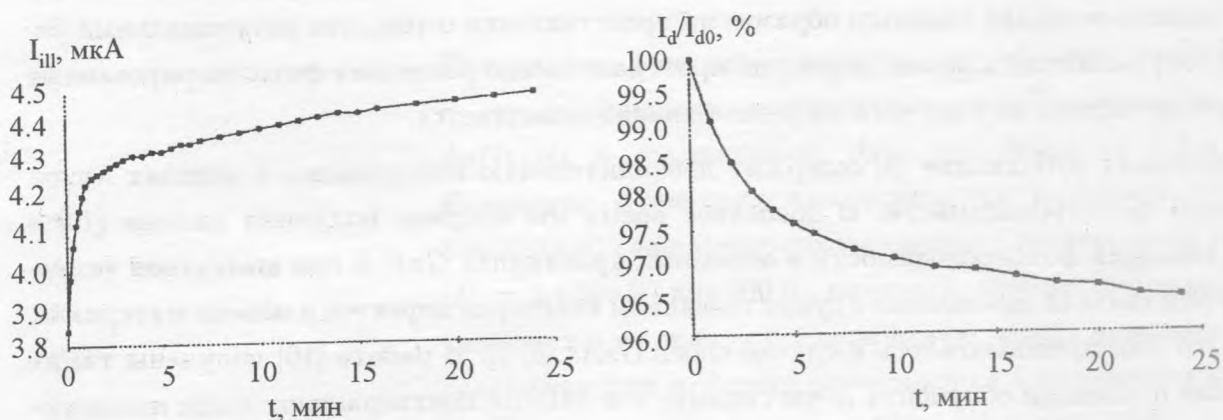


Рис. 1. Зависимость от времени фототока I_{ill} при освещении с длиной волны $\lambda = 570$ нм при $T = 200$ К.

Рис. 2. Зависимость от времени отношения I_d/I_{d0} после прекращения освещения с $\lambda = 570$ нм при $T = 200$ К.

На рис. 1 приведен типичный фототок при освещении с $\lambda = 570$ нм, что соответствует ширине запрещенной зоны $E_g = 2.175$ эВ при 200 К. Наблюдается возрастание фототока со временем и затем выход его на насыщение. Это свидетельствует о существовании незатухающей фотопроводимости. Зависимость между фототоком и логарифмом интегрального потока фотонов нелинейна [7].

Результаты измерений спада инерционного фототока после выключения света представлены на рис. 2 и 3 для температур 200 и 250 К соответственно. Чтобы сравнить кинетику спада фототока для этих двух температур, мы построили график отношения (в %) фототока I_d в данный момент времени к фототоку I_{d0} сразу после выключения освещения. Из рисунков ясно видно, что при низких температурах существует слабо спадающая фотопроводимость, как то наблюдалось при 300 К [10]. Если мы примем за

исходную точку значение $I_d/I_{d0} = 98\%$, то видно, что время спада устойчивого фототока уменьшается с повышением температуры. Измерения на втором образце приводят к аналогичным выводам.

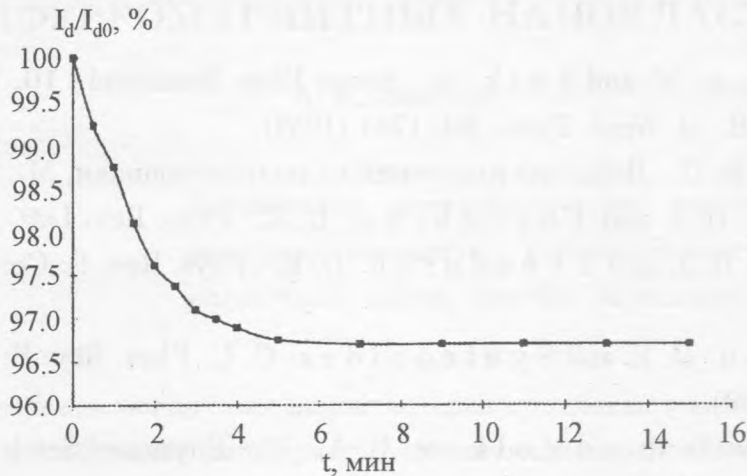


Рис. 3. Зависимость от времени отношения I_d/I_{d0} после прекращения освещения с $\lambda = 610$ нм при $T = 250$ К.

Эти результаты согласуются с предсказаниями теории неспадающей фотопроводимости, вызванной кластерами дефектов, которые присутствуют в толстых слоях полупроводников, таких как $GaAs$ [8], и в объемном $GaP:S$ при комнатной температуре [10]. Эти результаты свидетельствуют о наличии кластеров дефектов в наших образцах.

Волновые функции пространственно разделенных электронов и дырок с большим временем жизни перекрываются, после чего следует медленная рекомбинация. Скорость рекомбинации зависит от расстояния между электронами и дырками; удельная электропроводность оказывается сложной логарифмической функцией времени [8].

Незатухающая фотопроводимость в $GaP:S$ согласуется с предсказаниями модели этого явления, основанной на существовании кластеров дефектов. Накопление фотозвужденных носителей заряда происходит в узком интервале интегральных потоков фотонов, и спад фотопроводимости после выключения освещения описывается сложной логарифмической функцией времени.

Эта работа выполнена при поддержке Национального Комитета по развитию технологии в рамках международных связей (Венгрия) и Генерального Секретариата исследований и технологии Греции.

Л И Т Е Р А Т У Р А

- [1] *Bube R.* Concepts in Photoconductivity in Solids and Allied Problems, Wiley, New York, 1963.
- [2] *Рывкин С. М.* Фотоэлектрические явления в полупроводниках, М., Физматгиз, 1963.
- [3] *Sheinkman M. and Shik A.* Soviet Phys. Semicond., **10**, 128 (1976).
- [4] *Gossick B.* J. Appl. Phys., **30**, 1204 (1959).
- [5] *Вавилов В. С.* Действие излучений на полупроводники, М., Физматгиз, 1963.
- [6] *Queisser H. J. and Theodorou D. E.* Phys. Rev. Lett., **43**, 401 (1979).
- [7] *Queisser H. J. and Theodorou D. E.* Phys. Rev. B: Condens. Matter, **33**, 4027 (1986).
- [8] *Theodorou D. E. and Synieonides C. I.* Phys. Rev. B: Condens. Matter, **37**, 10854 (1988).
- [9] *Khokhlov D. R. and Volkov B. A.* The Physics of Semiconductors, Ed. by M. Scheffler, World Scientific, London, 1996.
- [10] *Zardas G. E., Theodorou D. E., Euthymiou D. C., et al.* Solid-State Commun., **105**, 77 (1998).

Поступила в редакцию 18 мая 1999 г.