

УДК 621.315.592

ИЗМЕРЕНИЕ ДРЕЙФОВОЙ ПОДВИЖНОСТИ ЭЛЕКТРОНОВ В ГЕРМАНАТЕ ВИСМУТА МЕТОДОМ ИМПУЛЬСНОЙ ФОТОПРОВОДИМОСТИ

Н.Н.ЛЕБЕДЕВА, Г.М.ЭЙВАЗОВА, В.И.ОРБУХ, В.М.НАГИЕВ

*Бакинский Государственный Университет
370148, Баку, ул. З.Халилова, 23*

В тонких кристаллических пластинах специально нелегированного германата висмута методом импульсной фотопроводимости были определены дрейфовая подвижность электронов μ_d , произведение $\mu_d\tau$, их температурные зависимости в интервале $-120^{\circ}\text{C}\div 20^{\circ}\text{C}$, проведен сравнительный анализ температурных зависимостей стационарного фототока i_f , μ_d и $\mu_d\tau$, определена энергия активации ловушек $E_f=0.15\text{эВ}$.

ВВЕДЕНИЕ

Интерес к кристаллам германата висмута (BGO) и его аналогу $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$ (BSO) обусловлен возможностью их использования в электро- и пьезооптических устройствах, в устройствах для записи и хранения оптической информации, [1-4], благодаря необычным оптическим, акустическим свойствам [5] и высокой фоточувствительности этих высокоомных материалов ($\rho = 10^9 \text{ Ом}\cdot\text{см}$) [6-7]. В связи с этим актуальным становится исследование явления переноса инжектированных фотоносителей в кристаллах BGO. Явления переноса в BGO исследовались рядом авторов [8-12], однако результаты этих работ плохо согласуются друг с другом. Наша работа посвящена измерению дрейфовой подвижности методом импульсной фотопроводимости [13].

ЭКСПЕРИМЕНТ

Исследовался специально нелегированный кристалл BGO в виде пластины размером $5\cdot 5\cdot 0.34\text{мм}$. На главные поверхности пластины наносились электроды, один из которых был прозрачный (70% пропускания) электрод из Al, напыленный на поверхность пластины в вакууме. Через него образец возбуждался светом импульсного лазера ЛГИ-21 ($\lambda=337\text{нм}$, $t_{\text{имп}}=30\text{нс}$) средней мощности 3мВт. Стабильное постоянное напряжение прикладывалось от комплекта сухих батарей, применение которых обусловлено пьезоэлектрической активностью BGO, мешающей измерениям в случае даже малой нестабильности приложенного поля. Сигнал с образца подавался на осциллограф С1-15. Запуск горизонтальной развертки производился от генератора Г5-26, который одновременно задавал частоту возбуждающих импульсов лазера. Время обратной связи измерительной схемы составляло $t_{\text{RC}}=4\cdot 10^{-6}\text{с}$, что позволяло не вносить искажения в импульс фотоотклика. Образец, помещенный в криостат с кварцевым окном, охлаждался от 20°C до -120°C . Коэффициент поглощения для фотонов лазерного излучения (3.4эВ) в BGO составляет 10^3см^{-1} [14], поэтому фотоносители генерировались под прозрачным электродом на глубине, составляющей 3% от толщины кристалла. Поскольку в BGO основные носители заряда в фототоке электроны, то образец засвечивался со стороны отрицательного электрода. До начала измерений образец с закороченными электродами освещался стационарной подсветкой в течении 1мин, чтобы обеспечить разрушение пространственного заряда, а затем затемнялся для приведения его в равновесное состояние. После этого на него подавалось поле, затем он освещался импульсом света, а на осциллографе регистрировался импульс фототока. Время пролета $T_{\text{пр}}$ мы оценивали как время от начала импульса до точки максимума фототока. Времена пролета ($T_{\text{пр}}$) были

достаточно большими по сравнению с RC-цепи, чтобы не вносить искажения в импульс фотоотклика.

Для проведения корректных измерений дрейфовой подвижности импульсным методом необходимо выполнение ряда условий: 1. необходим такой возбуждающий свет, чтобы носители заряда создавались вблизи прозрачного электрода, что соответствует большому коэффициенту поглощения для возбуждающего света; 2. фотоиндуцированные носители заряда должны приходить ко второму электроду за достаточно короткое время, за которое не успевает произойти рекомбинация; 3. длительность импульса света должна быть меньше, чем время пролета носителей через кристалл и RC измерительной схемы должно быть достаточно малым, чтобы не исказить импульс фотоответа. При проведении нашего эксперимента все вышеуказанные условия были соблюдены.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

1. Определение подвижности

Дрейфовая подвижность может быть вычислена по времени дрейфа фотоносителей, созданных ионизирующим излучением в тонкой пластине кристалла под полупрозрачным электродом, и дрейфующих в постоянном электрическом поле. При этом в образце происходит несколько конкурирующих процессов таких, как рекомбинация, захват и термический выброс электронов с ловушек. Присутствующие в зоне проводимости электроны движутся со скоростью $\mu_d E$, где μ_d - дрейфовая подвижность. Дрейфовая подвижность отличается от истинной подвижности μ_0 в связи с тем, что время пролета T_{np} гораздо больше, чем время, в течении которого электрон движется в электрическом поле, так как основную часть времени он проводит на уровнях прилипания. Дрейфовая подвижность может быть вычислена по времени дрейфа фотоносителей в постоянном электрическом поле

$$T_{np} = \frac{d}{\mu_d E} = \frac{d^2}{\mu_d V}, \quad (1)$$

где V -приложенное напряжение, d -толщина образца. Уравнение (1) позволяет по зависимости обратного времени пролета от напряжения определить дрейфовую подвижность. Если рассматривать случай, когда инжектированные электроны находятся в равновесии по отношению к захвату и выбросу с ловушек и ввести обозначения: n -концентрация свободных носителей, движущихся с истинной подвижностью, а n_t -концентрация не участвующих в движении и захваченных на ловушки носителей, тогда дрейфовая подвижность, согласно [15].

$$\mu_d = \mu_0 n / (n + n_t) = \mu_0 n / n_t, \quad (2)$$

если $n_t \gg n$, что характерно для изоляторов. Из (2) получим,

$$\mu_d = \frac{N_c}{N_t} \exp\left(-\frac{E_t}{kT}\right) \mu_0, \quad (3)$$

где E_t -глубина уровней, соответствующих центрам захвата, а N_c -эффективная плотность состояний в зоне проводимости, N_t -концентрация центров захвата соответственно. Эти уравнения объясняют температурную зависимость подвижности и позволяют вычислить глубину залегания E_t . Однако, необходимо учитывать, что μ_0 и N_t могут зависеть от температуры.

Амплитуда импульса фототока определяется концентрацией электронов, проходящих образец без захвата. Концентрация проходящих носителей определяется из соотношения

$$n_t = n_o \exp\left(-\frac{T_{np}}{\tau}\right) = n_o \exp\left(-\frac{d^2}{\mu_d \tau V}\right), \quad (4)$$

где n_o - концентрация фотоиндуцированных носителей, τ -рекомбинационное время жизни. Зависимость $\ln(n)$ от $1/V$ представляет прямую линию, из наклона которой может быть подсчитано произведение $\mu_d \tau$.

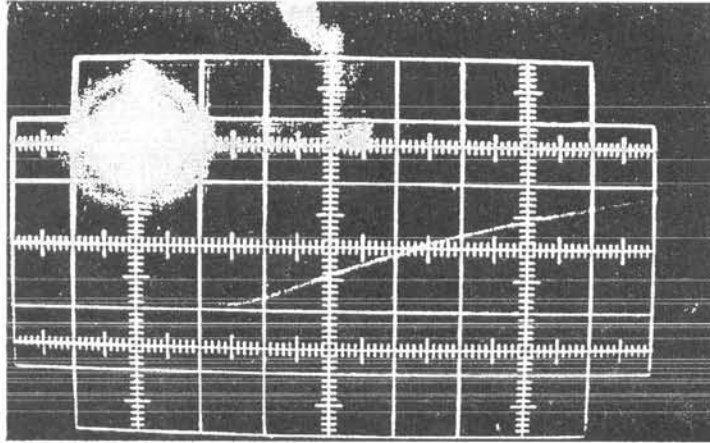


Рис.1. Осциллограмма фототока в поле 20кВ/см.
Развертка по горизонтали: 1см-20мкс

На Рис.1 приведена осциллограмма фотоответа при 20⁰С. Развертка по горизонтали 1см-20мкс. На представленной осциллограмме $T_{np}=25\mu\text{кс}$ при напряжении 700В, что соответствует полю около 20 кВ/см. С уменьшением поля T_{np} растет. Как видим, условия для корректного определения дрейфовой подвижности выполняются: длительность импульса света меньше T_{np} и RC цепи. Это позволяет из зависимости $1/T_{np}$ от V определить μ_d (прямая 1 на Рис.2). Оказалось, что μ_d имеет одинаковые значения только тогда, когда поля больше 10кВ/см, что означает выполнения условия, когда T_{np} меньше среднего времени жизни. Из тангенса угла наклона прямой 1 на Рис.2 была вычислена дрейфовая подвижность электронов, которая оказалась равной $0.06\text{см}^2\text{В}^{-1}\text{с}^{-1}$, что близко к

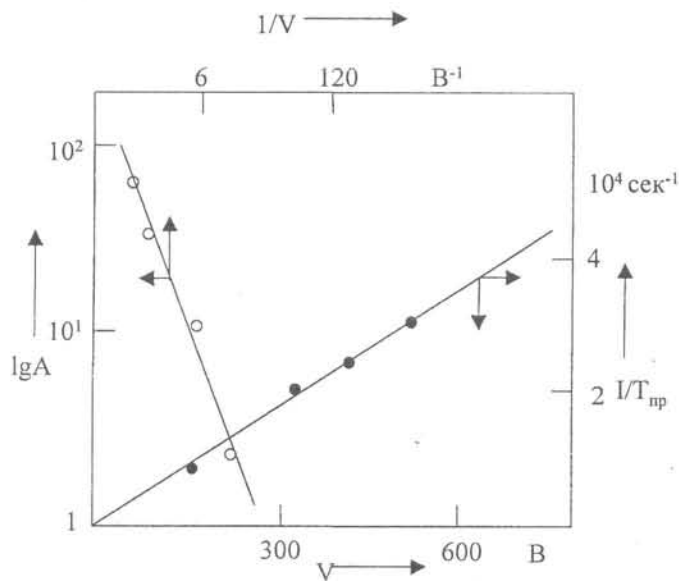


Рис.2. 1- полевая зависимость обратного времени пролета $1/T_{np}$
2- зависимость амплитуды фотоотклике (A) от
обратного напряжения ($1/V$)

значению μ_d для BSO [8], где $\mu_d=0.03\text{см}^2\text{В}^{-1}\text{с}^{-1}$. Полученные в [12] для BGO значения $\mu_d=(1\div 2)10^{-3}\text{см}^2\text{В}^{-1}\text{с}^{-1}$ кажутся нам неверными из-за того, что носители возбуждались не на поверхности, а в объеме кристалла и толщина кристалла была недостаточно малой, что приводило к нарушению основного условия эксперимента. На Рис.2(прямая 2) показана логарифмическая зависимость амплитуды фотоотклика от обратного напряжения, которая согласно (4) есть прямая, из наклона которой было вычислено произведение $\mu_d\tau=1.7\cdot 10^{-6}\text{см}^2\text{В}^{-1}$.

2. Температурная зависимость подвижности

На рис.3 показана зависимость от температуры стационарного фототока i_ϕ , μ_d и $\mu_d\tau$. Как видно из Рис.3, при уменьшении температуры от 20°C до -70° подвижность в согласии с (3) уменьшается. Для этого интервала температур по графику $\log A$ от $1/T$ была вычислена энергия активации ловушек $E_t=0.15\text{эВ}$. Рост μ_d с дальнейшим понижением температуры до -120°C может быть связан с уменьшением эффективности прилипания, когда μ_d стремится к значению истинной подвижности μ_0 . Действительно, с понижением температуры квазиуровень Ферми смещается к с-зоне и часть ловушек становится центрами рекомбинации, что может быть причиной уменьшения N_t . В этой области температур наблюдается и возрастание стационарного фототока, которое может быть обусловлено ростом μ_d и $\mu_d\tau$.

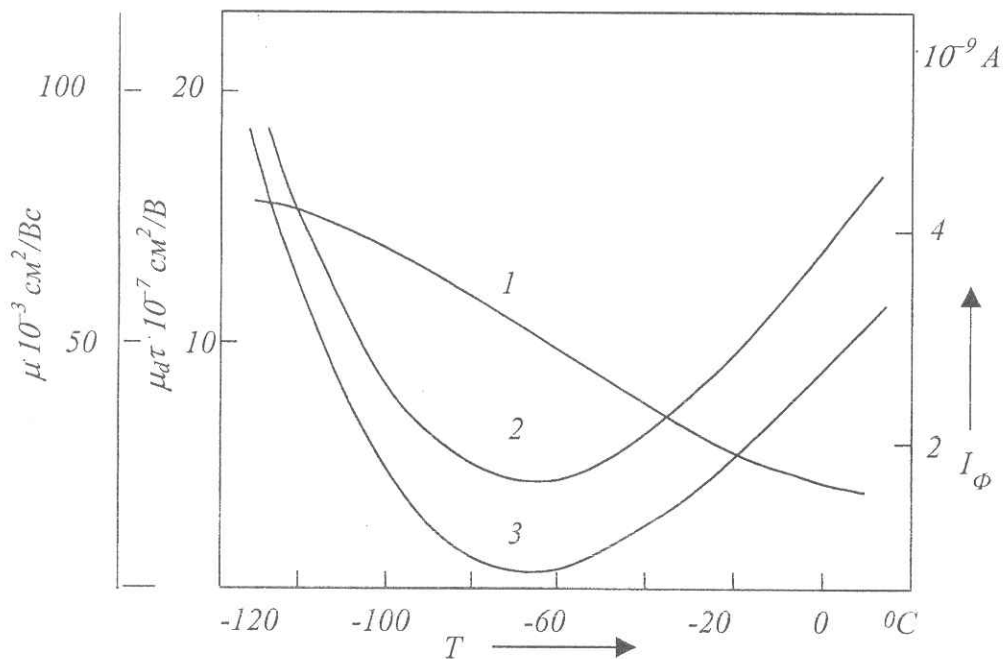


Рис. 3.

Температурные зависимости:

1 – стационарного фототока (I_ϕ), 2 – произведения $\mu_d\tau$, 3 – дрейфовой подвижности μ_d

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Импульсное возбуждение может быть успешно использовано для измерения дрейфовой подвижности в диэлектрических материалах, таких как BGO. Основные носители в BGO(электроны)имеют дрейфовую подвижность при комнатной температуре $\mu_d=0.06\text{см}^2/\text{в}\cdot\text{с}$. Температурная зависимость μ_d и $\mu_d\tau$ согласуется с зависимостью фототока в низкотемпературной области ($-70^\circ\div -120^\circ\text{C}$). Вычислена глубина ловушек, равная 0.15эВ .

1. S.L.Hou, D.S.Oliver, *Appl. Lett.*, **18** (1971) 325.
2. J.Feinleib, D.S.Oliver, *Appl. Opt.*, **11** (1972) 2752.
3. А.А.Бережной, В.С.Гуревич, С.В.Морозов и др., *Письма в ЖЭТФ*, **2** (1976) 198.
4. В.К.Малиновский, О.А.Гудаев, С.И.Деменко, *Фотоиндуцированные явления в силленитах*, Наука, Новосибирск, (1990) 160.
5. E.L.Venturini, E.G.Spenser, A.A.Balman, *J. Appl. Phys.*, **40** (1969) 1622.
6. B.B.Lauer, *J. Appl. Phys.*, **42** (1971) 2147.
7. Т.В.Панченко, *ФТТ*, **42** -646,(2000) 641.
8. S.J. Hou, R.B.Lauer, R.E.Aldrich, *J. Appl. Phys.*, **44** (1973) 2652.
9. В.Х.Костюк, А.Ю.Кудзин, Г.Х.Соколянский, *ФТТ*, **22** (1980) 2454.
10. И.Т.Овчинников, Э.В.Яншин, *ФТТ*, **25** (1983) 2196.
11. A.Ennouri, M.Tapiezo, I.P.Vols et all, *Appl. Phys.*, **74** (1993) 2180.
12. С.Н.Пляка, Г.Х.Соколянский, *ФТТ*, **40** (1998) 2054.
13. I.L.Hartke, *Phys. Rev.*, **125** (1962) 1177.
14. V.E.Bagiev, Sh.M.Efendiev, A.Kh.Zeinally, *Phys. Stat. Sol.*, **50** (1978) 2.
15. A.Rose, *RCA Rev.* **12** (1951) 362.

GERMANAT VISMUTDA İMPULS FOTOKEÇİRİCİLİYİ ÜSULU İLƏ ELEKTRONLARIN DREYF YÜRÜKLÜYÜNÜN ÖLÇÜLMƏSİ

N.N.LEBEDEVA, Q.M.EYVAZOVA, V.İ.ORBUX, V.M.NAĞIYEV

Aşqarlanmamış germanat vismut nazik kristallik təbəqələrində impuls fotokeçiriciliyi üsulu ilə elektronların dreyf yürüklüyü μ_d , $\mu_d\tau$ hasilini, onların ($120^0 \div -20^0$ C) intervalında temperatur asılılığı, (i_{ph}) stasionar fotocərə yanını, μ_d və $\mu_d\tau$ -nin temperatur asılılıqlarının müqayisəli analizi, tələlərin $E_t=0.15$ eB aktivasiya enerjisi təyin edilmişdir.

THE MEASUREMENT of ELECTRON DRIFT MOBILITY in BISMUTH GERMANATE by PULSE PHOTOCONDUCTIVITY METHOD

N.N.LEBEDEVA, G.M.EIVAZOVA, V.T.ORBUX, V.M.NAGIEV

The drift mobility of electrons μ_d , the product $\mu_d\tau$, their temperature dependences in the range of $120^0 \div -20^0$ C have been determined in the thin crystalline plates of especially undoped Bismuth Germanate (BGO) by the pulse photoconductivity method, the comparative analysis of temperature dependences of the steady-state photocurrent i_{ph} , μ_d and $\mu_d\tau$ has been carried out and the activation energy of traps, $E_t=1.15$ eV, has been determined.

Редактор: С.Мехтиева