

## ВЛИЯНИЕ ФОТОВОЗБУЖДЕНИЯ НА ПРОЦЕСС ДЕФЕКТООБРАЗОВАНИЯ ПРИ ЭЛЕКТРОННОМ ОБЛУЧЕНИИ ГЕРМАНИЯ

Р.С. МАДАТОВ, А.И. АЛИЕВ, Г.М. ГАСУМОВ, А.А. АБДУРРАГИМОВ

Сектор Радиационных Исследований АН Азербайджана,  
370143, Баку, пр. Г. Джавида, 31<sup>а</sup>

Обнаружено, что фотовозбуждение во время облучения германия электронами с энергией 4,5 МэВ приводит к существенному изменению зарядового состояния радиационных дефектов. Изменения зарядового состояния подвижных дефектов и кинетики дефектных реакций, вследствие избыточной концентрации неосновных носителей заряда, рассматриваются как наиболее вероятные причины обнаруженного эффекта.

В настоящее время широко используется модификация структуры и приповерхностных слоев твердых тел путем воздействия электронами, ионами или лазерными лучами [1-3]. Она позволяет легко управлять количеством и распределением инжектированных атомов. Практически во всех теоретических моделях, развитых к настоящему времени, при описании механизмов дефектообразования при облучении полупроводников, предполагается, что состояние электронной подсистемы кристалла может существенно влиять на кинетику образования и перераспределения радиационных дефектов [3].

В последние годы появилось несколько работ [3-5], в которых было показано, что световое возбуждение в процессе ионной имплантации приводит как к количественным, так и к качественным изменениям в свойствах слоев. Механизм влияния фотовозбуждения при облучении высокоэнергетическими частицами на формирование радиационных дефектов в полупроводниках в настоящее время окончательно не выяснен, что, в частности, связано со сложным характером системы дефектов, образующихся в модификации структур. Поэтому в настоящей работе была предпринята попытка обнаружения влияния фотовозбуждения на дефектообразование во время электронного облучения.

### Методика эксперимента.

Исследовались пластины монокристаллического Ge n-типа проводимости, прошедшие химико-механическую обработку. После обработки поверхности образцов путем термического напыления золота формировались диоды Шоттки. Омические контакты с тыльной стороны, а также к n-слою в образцах изготавливались путем втирания пасты. Облучение электронами с энергией 4,5 МэВ проводилось на линейном импульсном ускорителе. Доза облучения во всех экспериментах составляла  $10^{12} \div 10^{13} \text{ см}^2$ . Часть образцов во время облучения электронами освещалась светом ртутной лампы. Плотность мощности света на поверхности образцов, принудительно охлаждавшихся во время облучения, не превышала 300 К.

Изучение параметров глубоких уровней, соответствующих вводимым радиационным дефектам, проводилось методом DLTS [6] в диапазоне температур  $100 \div 300 \text{ К}$ . Измерения вольт-фарадных характеристик показали, что концентрация свободных носителей заряда одинакова по всей толщине кристалла.

### Экспериментальные результаты и их обсуждение.

На рис.1 приведены характерные спектры DLTS для образцов, облученных в темноте (кривая 1) и при освещении (кривая 2). Общий вид спектров DLTS n-ных образцов, облученных в темноте, хорошо согласуется с описанными в литературе для аналогичных кристаллов, что позволяет идентифицировать дефекты, обуславливающие этот спектр [7]. Как видно из рис.1, в спектрах DLTS наблюдаются два пика, соответствующие дефектам с энергетическими положениями  $E_c - 0,18 \text{ эВ}$  и  $E_v + 0,28 \text{ эВ}$ . Значения энергии активации ( $E_t$ ), сечения захвата носителей ( $\sigma_n$ ) и концентрации радиационных дефектов получены из зависимостей Аррениуса [7] для скорости термоэмиссии (рис.2).

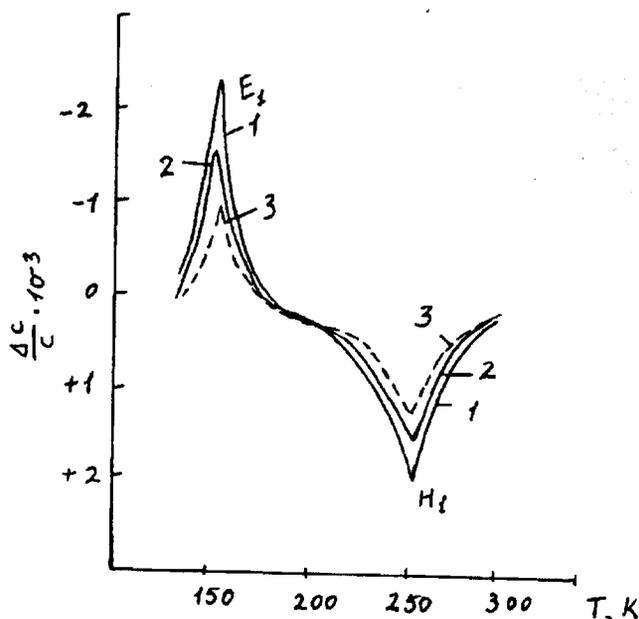


Рис. 1. Спектры DLTS n-Ge, облученные электронами при 293 К:  $\phi = 10^{13} \text{ см}^2$ ,  $U = -5 \text{ В}$ ,  $\tau = 20 \text{ мс}$ ,  $P_0 = 300 \text{ мВт/см}^2$ ; 1 - в темноте; 2 - после изохронного отжига; 3 - при фотовозбуждении.

Релаксация емкости, в случае  $N \ll N_D$ , где  $N_D$  - концентрация доноров,  $N$  - концентрация глубоких уровней, определяется следующим выражением:

$$c(t) = \Delta c \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right),$$

где  $\Delta c$  - уменьшение емкости при  $t=0$ , обусловленное импульсом инжекции, который в случае выброса электронов с глубокого уровня определяется по формуле:

$$\tau = \frac{1}{V_n \sigma_n N_c} \cdot \exp\left[\frac{(E_0 - E_t)}{kT}\right].$$

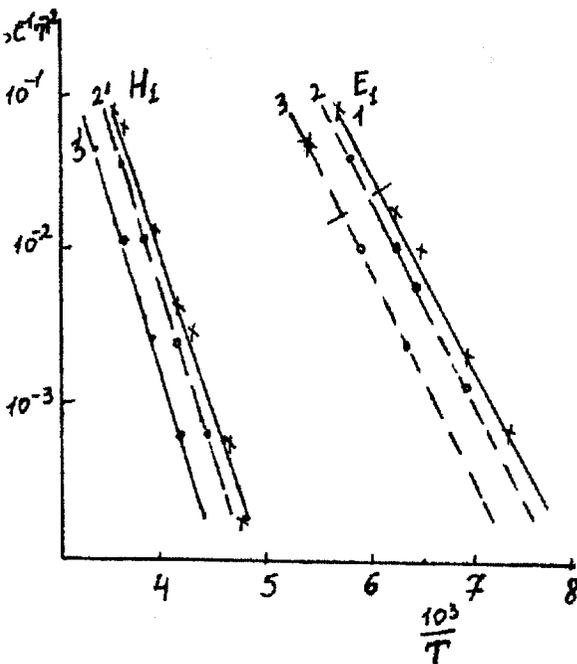


Рис. 2. Температурная зависимость скорости термоэмиссии носителей заряда с уровней  $E_1, U, H_1$ ; 1 - в темноте; 2 - после изохронного отжига; 3 - при фотовозбуждении.

В основе метода DLTS лежит изменение разности емкостей с  $c(t_1)$  и  $c(t_2)$  для двух фиксированных моментов времени  $t_1$  и  $t_2$  в зависимости от температуры. Определим нормализованный сигнал DLTS в виде  $S(t) = [c(t_1) - c(t_2)] / \Delta c$ , тогда для экспоненциальной релаксации имеем:

$$S(t) = \exp\left(-\frac{t_1}{\tau}\right) - \exp\left(-\frac{t_2}{\tau}\right) \quad (1)$$

Таким образом, задавая определенные значения  $t_1$  и  $t_2$ , можно выделить эмиссию электронов, происходящую с данной скоростью, в виде определенного пика на зависимости  $S(t)$ . Приравнявая производную нулю, получаем  $\tau_{mc} = \frac{t_1 - t_2}{\ln(t_1/t_2)}$ . Скорость эмиссии элект-

ронов, соответствующая максимуму сигнала, наблюдаемого при термическом сканировании кристалла, используется для определения энергетического положения глубокого уровня. Оценки сечения захвата электронов определялись выражением  $\tau_n = v \sigma_n n_p$ , где  $\sigma_1 = 2 \cdot 10^{17} \text{ см}^2$ ;

$\sigma_1 = 2 \cdot 10^{17} \text{ см}^2$ , а концентрации радиационных дефектов по формуле [4] составляют  $N_1 = 8 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$ ,  $N_2 = 10^{14} \text{ см}^{-3}$ . Емкостные измерения в диапазоне температур 80÷300K показали, что концентрация радиационных дефектов и сечения захвата носителей уменьшаются при облучении во время фотовозбуждения, что обусловлено фотоотжигом.

Для определения области температурной стабильности радиационных дефектов были проведены изохронные отжиги образцов (по 20 минут), сопровождавшиеся DLTS измерением величины концентрации радиационных дефектов (рис.3). Установлено, что отжиг радиационных дефектов происходит в диапазоне 400÷450 K. Из сравне-

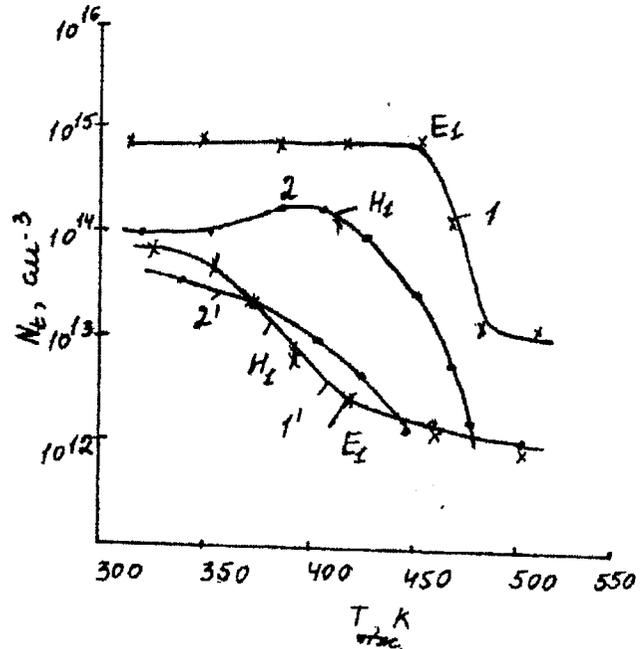


Рис. 3. Зависимость концентрации радиационных дефектов от температуры 20 минутного отжига после облучения электронами ( $\Phi = 10^{13} \text{ см}^{-2}$ ,  $T = 293 \text{ K}$ ); 1, 2 - при облучении в темноте; 1', 2' - при облучении под действием фотовозбуждения.

ния полученных данных DLTS до и после отжига можно сделать вывод, что ловушки  $E_1$  и  $H_1$  - одной природы и идентифицировать их как А- центр. Это подтверждают и результаты изохронного отжига, доказывающего, что область температурной стабильности ловушек  $E_1$  и  $H_1$  совпадает и не противоречит литературным данным.

Из рис.1 (кривая 1 и 2) видно, что в случае подсветки во время облучения электронами уменьшается количество радиационных дефектов, вносящих глубокие уровни в запрещенную зону, на что указывает уменьшение амплитуды пика DLTS. Оно обусловлено фотоотжигом радиационных дефектов.

Можно предположить, что нарушение кристаллической структуры происходит под действием двух конкурирующих механизмов - разупорядочения и отжига. В пользу этого предположения свидетельствует тот факт, что при подсветке концентрация радиационных дефектов уменьшается. По-видимому, наблюдаемый фотоотжиг вызван передачей энергии, освобождаемой при рекомбинации электронно-дырочной пары в области объ-

многого заряда (дефектам). В результате такой дефект может перейти в новое положение равновесия в кристаллической решетке. Это в свою очередь может привести к изменению зарядового состояния, и в конечном счете к наблюдаемому уменьшению числа электрически активных комплексов.

Таким образом, фотовозбуждение во время облучения германия электронами с энергией 4,5 МэВ приводит к радиационно-стимулированной диффузии примесей и дефектов, в результате чего происходит отжиг радиационных дефектов.

- [1] *Т.Д. Джафаров.* "Радиационно-стимулированная диффузия в полупроводниках", Энерго-атомиздат, М., 1991.
- [2] *А.К. Аллахвердиев, М.Я. Бакиров, Р.С. Мадатов, И.А. Кабулов.* ФТП, 1991, с.177-180.
- [3] *С.П. Балдырев, В.Н.Мордкович, И.М. Омеляновская* ФТП, 1992, т.28, №10, с.1823.
- [4] *Р.С. Мадатов, Г.М.Гасумов, Т.Б. Тагиев, А.И. Алиев.* "Fizika", Баку, 1997, № 2, с.1-3.

- [5] *В.В. Артамонов, М.Я. Валах, А.В.Денисов, В.Н. Мордкович.* ФТП, 1992, т.26, №12, с.2083-2090.
- [6] *Л.С. Берман, А.А. Лебедев* "Емкостная спектроскопия глубоких центров в полупроводниках", Л., Наука, 1981, с.176.
- [7] *A.B. Danilm, Yn.N. Erokhin, V.N. Mordkovich.* Nucl. Instrum. Meth.Phys. Res. 1981, B59/60, с. 985.

**R.S. Mədətov, A.İ. Əliyev, Q.M.Qasimov, A.A. Əbdürrəhimov**

## **GERMANIUMDA DEFEKTLƏRİN ƏMƏLƏGƏLMƏ PROSESİNƏ FOTONƏYƏCANLANMANIN VƏ ELEKTRON ŞÜALARININ BİRGƏ TƏSİRİ**

Müəyyən edilmişdir ki, germanium monokristalını enerjisi 4,5 MeV olan elektronlarla şüalandıran zaman ona işıq şüaları ilə təsir etdikdə radiasiya defektlərinin azalması müşahidə edilir. Defektlərin yük halının və konsentrasiyasının dəyişməsi qeyri-əsas yükdaşıyıcıların rekombinasiyasının baş verməsi nəticəsində, müşahidə edilən effektin əsas səbəbi kimi götürülür.

**R.S. Madatov, A.I. Aliyev, Q.M. Qasimov, A.A. Abdurragimov**

## **THE INFLUENCE OF PHOTOEXCITATION ON THE DEFECT FORMATION PROCESS AT THE ELECTRON IRRADIATION OF Ge**

It has been observed that the additional photoexcitation at the electron irradiation of Ge with 4,5 MeV by electrons leads to the essential change of radiation defect concentration. The effect is discussed in terms of radiation mobile point defects and changes in the kinetics of defect reactions due to high concentration of minority charge carriers.