

УДК 539.3;534.29

ДИФФУЗИЯ ПРИМЕСИ В ПОЛЕ СТОЯЧЕЙ
УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ВОЛНЫ

В. С. АРАКЕЛЯН, А. А. АВАКЯН, С. В. СУЛЯН

Институт радиофизики и электроники АН АрмССР

(Поступила в редакцию 27 декабря 1983 г.)

Предложен метод создания объемной периодической структуры в твердых телах за счет диффузии межузельной примеси в поле стоячей ультразвуковой волны. Исследована динамика процесса.

Имеющиеся в настоящее время методы позволяют получить стационарные, периодические в пространстве структуры в основном в тонких пленках [1]. Исключение составляют работы [2, 3], в которых объемные периодические структуры (ПС) получены в процессе роста кристаллов в поле стоячей ультразвуковой (УЗ) волны. Учитывая, что целый ряд кристаллов выращивается из расплава при высоких температурах, когда поглощение УЗ энергии велико, использование метода получения ПС, указанного в [2, 3], в этом случае затруднительно.

Представляет интерес исследование возможности создания ПС в твердом теле посредством диффузии межузельной примеси в поле стоячей УЗ волны. В настоящей работе предлагается метод получения объемных ПС за счет указанного механизма.

Рассмотрим образец с равномерно распределенной по объему концентрацией примеси C_0 , в котором возбуждена стоячая УЗ волна. Фронт УЗ волны перпендикулярен оси z , направленной вдоль образца. Поглощение энергии УЗ волны происходит в основном за счет ангармонизма колебаний кристаллической решетки [4]. Наиболее полная теория этого механизма поглощения для случая бегущей волны при условии $\Omega\tau < 1$ (Ω — циклическая частота ультразвука, τ — время релаксации тепловых фононов) дана Вудрафом и Эренрайхом [5]. Используя метод, изложенный в [5], можно получить выражение для скорости передачи энергии от стоячей УЗ волны фононной системе [6]:

$$W = 2 I \alpha \sin^2 kz, \quad (1)$$

где $\alpha = \kappa T \gamma^2 \Omega^2 / \rho v^5$ совпадает с выражением, полученным в [5], I — интенсивность, k — волновое число ультразвука, κ — коэффициент теплопроводности, T — температура, γ — постоянная Грюнайзена, ρ — плотность, v — скорость распространения УЗ волны. При условии термодинамического равновесия скорость передачи энергии от УЗ волны фононной системе равна скорости передачи энергии фононной системой термостату [7]. Считая, что при наличии в твердом теле примеси с концентрацией

$C_0 \sim 10^{10}$ и выше «термостатом» служит примесь [8, 9], можно записать выражение для энергии, получаемой атомом примеси от УЗ волны:

$$Wt_s/C_0 = 2 I \alpha t_s \sin^2 kz/C_0, \quad (2)$$

где t_s — полупериод УЗ колебаний.

С учетом влияния стоячей УЗ волны коэффициент диффузии запишем в виде

$$D \equiv D_0 \exp\left(-\frac{Q - \langle E \rangle \sin^2 kz}{KT}\right), \quad (3)$$

где Q — энергия активации в отсутствии возмущения, D_0 — частотный фктор, $\langle E \rangle = 2 I \alpha t_s / C_0$.

В общем случае уравнения Фика запишем в виде

$$J = -\frac{\partial}{\partial z}(CD). \quad (4)$$

$$\frac{\partial C}{\partial t} = -\frac{\partial J}{\partial z} = \frac{\partial^2}{\partial z^2}(CD). \quad (5)$$

Из (3)—(5) для стационарного случая получаем

$$C = \frac{C_0}{A} \exp\left(-\frac{\langle E \rangle \sin^2 kz}{KT}\right), \quad (6)$$

где

$$A = \frac{1}{\lambda} \int_0^\lambda \exp\left(-\frac{\langle E \rangle \sin^2 kz}{KT}\right) dz,$$

λ — длина УЗ волны.

Таким образом, благодаря модуляции по координате энергии, передаваемой от УЗ волны примеси, воздействие на образец с первоначально равномерно распределенной примесью стоячей УЗ волны приводит к периодическому в пространстве распределению концентрации.

Для исследования динамики процесса решена нестационарная задача на ЭВМ. На рис. 1 представлен график зависимости изменения концен-

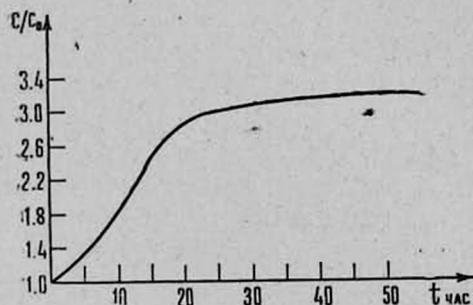


Рис. 1.

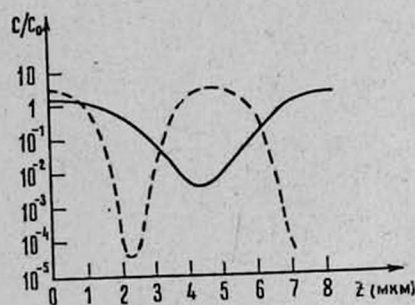


Рис. 2.

трации межузельного лития вдоль направления [100] от времени в точке минимума коэффициента диффузии в образце кристаллического кремния при $\Omega = 500$ МГц, $I = 5$ Вт·см⁻², $T = 360$ К. Как следует из графика,

система достигает стационарного состояния через 50 часов после начала процесса.

На рис. 2 показано изменение относительной концентрации примеси в стационарном случае вдоль кристаллографической оси [100] для Si и Ga As при тех же параметрах ультразвука и температуры при начальной концентрации межузельного лития $C_0 = 10^{11} \text{ см}^{-3}$.

Таким образом, применение данной методики позволяет получать значительные изменения концентрации примеси, что представляет интерес для полупроводниковой техники, квантовой радиофизики и электроники, нелинейной оптики.

В заключение авторы считают приятным долгом поблагодарить В. М. Арутюняна и Б. М. Гюрджяна за интерес к работе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Элаши Ш. ТИИЭР, 64, № 12, 22 (1976).
2. Аракелян В. С. и др. Письма в ЖЭТФ, 27, 656 (1978).
3. Аракелян В. С. и др. Труды Всесоюзной конференции «Оптика лазеров», Л., 1980.
4. Ахмезер А. И. ЖЭТФ, 8, 1318 (1938).
5. Woodruff T. O., Ehrenreich H. Phys. Rev., 123, 1553 (1961).
6. Arakelyan V. S., Avakyan A. A. Phys. Stat. Sol. (a), 80, K71 (1983).
7. Blount E. J. Phys. Rev., 114, 418 (1959).
8. Krevchik V. D., Muminov R. A., Yafasov A. Ya. Phys. Stat. Sol. (a), 63, K159 (1981).
9. Займан Дж. Электроны и фононы. Изд. ИЛ, М., 1962.

ԽԱՌՆՈՒՐԴԻ ԴԻՖԴՈՋԻԱՆ ԿԱՆԳՈՒՆ ՈՒՆԻԲԱԶԱՅՆԱՅԻՆ ԱՆԻՔԻ ԴԱՇՏՈՒՄ

Վ. Ս. ԱՌԱՔԵԼՅԱՆ, Ա. Ա. ԱՎԱԿՅԱՆ, Ս. Վ. ՍՈՒԼՅԱՆ

Առաջարկված է կանգուն ուլտրաձայնային ալիքի դաշտում միջանդուցային խառնուրդի դիֆուզիայի շնորհիվ պինդ մարմնում ծավալային պարբերական կառուցվածքի ստեղծման մեթոդ: Հետազոտված է պրոցեսի ընթացքը:

THE DIFFUSION OF AN INTERSTITIAL IMPURITY IN THE FIELD OF STANDING ULTRASONIC WAVE

V. S. ARAKELYAN, A. A. AVAKYAN, S. V. SULYAN

The diffusion of an interstitial impurity in a solid in the field of standing ultrasonic wave was calculated. The possibility of the formation of two-dimensional periodic structures due to the change in impurity concentration is shown. The dynamics of the diffusion process was investigated and the ratio of impurity concentration in maxima to that in minima was obtained to reach several orders of magnitude.