

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭНЕРГИИ МИГРАЦИИ ВАКАНСИЙ И СОБСТВЕННЫХ МЕЖДОУЗЕЛЬНЫХ АТОМОВ В КРЕМНИИ В ИНТЕРВАЛЕ ТЕМПЕРАТУР 400 – 600 К

*В.А.Пантелеев, С.Н.Ершов, В.В.Черняховский,
С.Н.Нагорных*

В настоящей работе приводятся экспериментальные данные по прямому определению энергии миграции и коэффициентов диффузии точечных дефектов в кремнии, идентифицированных как вакансии и собственные междоузельные атомы.

В литературе до настоящего времени нет единого мнения о параметрах миграции простейших дефектов в германии и кремнии. Например, косвенные экспериментальные оценки и теоретические расчеты по энергии миграции вакансий (E_m) в кремнии лежат в широком интервале от 0,18 до 1,09 эв [1].

В настоящей работе описан эксперимент по прямому определению E_m . В его основу положены высокая чувствительность фотостимулированной электронной эмиссии (ФСЭЭ) к небольшим отклонениям концентрации

точечных дефектов (ТД) от равновесной [2] и специально разработанная методика, по которой ТД создаются облучением на одной поверхности образца, а измерение ФСЭЭ проводится с противоположной [3]. При такой геометрии опыта в эксперименте контролируется длина диффузионного пути (толщина образца) и время его прохождения дефектами. Кинетика ФСЭЭ в этом случае определяется временной зависимостью потока ТД, подходящих к эмиттирующей поверхности [4].

Неравновесные ТД в исследуемых образцах монокристаллического кремния создавались бомбардировкой ионно-плазменным пучком (энергия ионов ~ 3 кэВ), полученным по методике [5].

Регистрация ФСЭЭ осуществлялась в вакууме $\sim 10^{-5}$ тор вторичным электронным умножителем при освещении образца светом ртутной лампы через светофильтр.

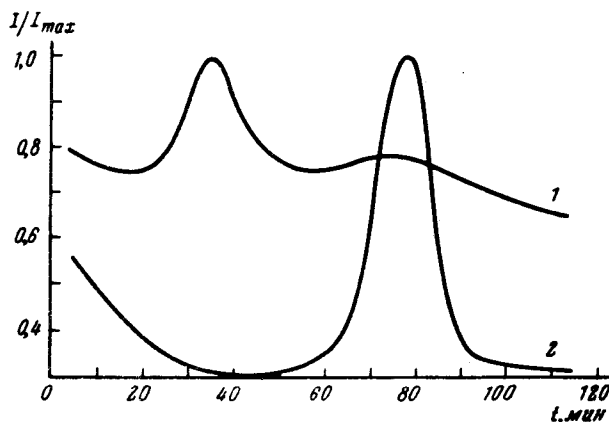


Рис. 1. Кинетика интенсивности ФСЭЭ после облучения: 1 — кремния ($L = 330$ мкм; $T = 170^\circ\text{C}$), 2 — алюминия ($L = 80$ мкм; $T = 450^\circ\text{C}$)

На рис. 1 приведена типичная зависимость интенсивности ФСЭЭ от времени после облучения. Из рис. 1 видно, что ФСЭЭ после бомбардировки монотонно спадает до уровня "фона", а затем на кинетических кривых появляются максимумы. Положение максимумов на кинетических кривых ФСЭЭ определяется толщиной образцов (L) и температурой (T): при уменьшении L или увеличении T максимумы смещаются в область меньших времен, при увеличении L и уменьшении T наблюдается обратная зависимость. Этот эффект указывает на связь максимумов ФСЭЭ с миграцией через образец ТД, поскольку поток точечных дефектов вблизи эмиттирующей поверхности также имеет максимум во времени.

Нами были предприняты специальные эксперименты, которые показали, что побочные эффекты, имеющие место при ионно-плазменном облучении (локальный разогрев образца, акустическое возбуждение и т. д.) приводят лишь к появлению монотонно затухающей ФСЭЭ. Влияние побочных эффектов на ФСЭЭ было проверено также при замене Si алюминием. Характер кинетики ФСЭЭ облученного алюминия (рис. 1) аналогичен Si, а ее температурное поведение указывает на то, что максимум кинетики связан с диффузией дивакансий в Al [4].

Тип дефектов и их диффузионные параметры определялись с помощью

уравнения диффузии:

$$\frac{\partial c}{\partial t} = D \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} - ac, \quad (1)$$

где c – концентрация дефектов.

Из решения уравнения (1) не трудно получить выражение для потока ТД у эмиттирующей поверхности, время прихода максимума которого (t_M) равно $t_M \approx L^2 / 2\sqrt{aD}$ при интенсивном захвате ($a \gg L^2/D$) и $t_M \approx L^2 / 6D$ (2) при $a \approx 0$. Зная L и t_M можно определить коэффициент диффузии дефектов. Следует заметить, что наличие захвата ТД влияет только на величину предэкспоненциального множителя в коэффициенте диффузии, но не сказывается на величине энергии миграции, определяемой из температурной зависимости D .

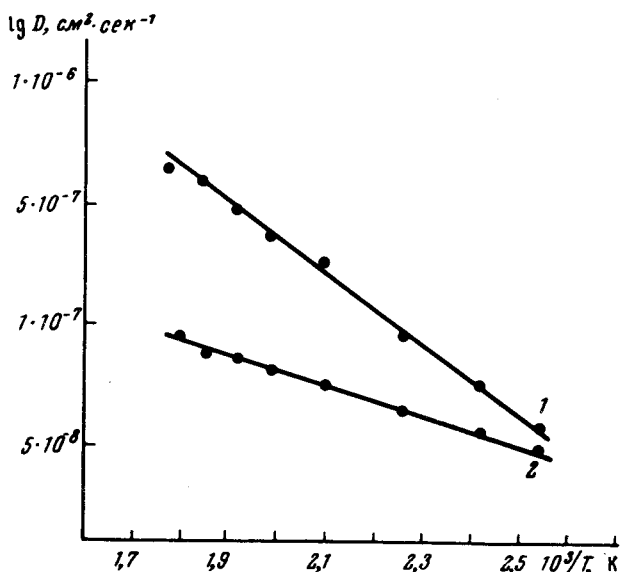


Рис. 2. Температурная зависимость коэффициента диффузии вакансий (1) и собственных междоузельных атомов (2) в кремнии

Мы провели измерения в интервале температур $100 \div 350^\circ\text{C}$. На рис.2 представлена температурная зависимость коэффициента диффузии, рассчитанного по (2) без учета захвата. Предэкспоненциальный множитель в зависимости Аррениуса у первого типа дефектов оказался равным $D_{01} = (2,2 \pm 0,1) \cdot 10^{-4} \text{ см}^2 \cdot \text{сек}^{-1}$; у второго типа – $D_{02} = (1,1 \pm 0,1) \times 10^{-6} \text{ см}^2 \cdot \text{сек}^{-1}$. Энергии миграции: $E_{m1} = 0,30 \pm 0,04 \text{ эв}$ и $E_{m2} = 0,12 \pm 0,04 \text{ эв}$ соответственно.

Численные значения диффузионных параметров ТД позволяют предположить, что первым типом дефектов являются вакансии (D_{01}), вторым (D_{02}) – собственные междоузельные атомы. Полученные нами значения энергий миграции хорошо согласуются с оценками работы [6].

Горьковский
государственный университет
им. Н.И.Лобачевского

Поступила в редакцию
5 мая 1976 г.

Литература

- [1] Д.Шоу. Атомная диффузия в полупроводниках, М., изд. Мир, 1975.
- [2] Р.И.Гарбер, В.В. Медынский, В.Д.Парцырный, И.И.Солошенко. "Металлофизика" (АН УССР), 1974, вып. 55, стр. 83.
- [3] В.А.Пантелеев, В.В.Черняховский, С.Н.Ершов. ФТТ, 16, 2151, 1974.
- [4] С.Н.Нагорных. Автореферат канд. диссертации, г.Горький, 1975.
- [5] Л.А.Арцимович, С.Ю. Лукьянов, И.М.Подгорный, С.А.Чуватин. ЖЭТФ, 33, 3, 1957.
- [6] G.D.Wotkins. Radiation Damage in Semiconductors, Dunod, Paris, p. 97, 1965.
-