

- [1] Дашевский М. Я., Докучаева А. А., Лымарь С. Г., Итальянцев А. Г., Антонова И. А. — Изв. АН СССР, Неорг. матер., 1985, т. 21, в. 11, с. 1827—1829.
- [2] Дашевский М. Я., Докучаева А. А., Анисимов К. И. — Изв. АН СССР, Неорг. матер., 1986, т. 22, в. 10, с. 1599—1602.
- [3] Дашевский М. Я., Докучаева А. А., Корляков Д. Н., Салманов А. Р. — В кн.: Физика кристаллизации. Калинин, 1987, с. 4—10.
- [4] Бабицкий Ю. М., Горбачева Н. И., Гринштейн П. М. — ФТП, 1984, т. 18, в. 7, с. 1308—1314.
- [5] Баженов В. К., Фистуль В. И. — ФТП, 1984, т. 18, в. 8, с. 1345—1348.
- [6] Srinivason J., Krishnamurthy A., Sher A., An-Ban Chen. — Appl. Phys. Lett., 1985, v. 47, N 2, p. 160—162.
- [7] Неймарк Е. И., Шанина Б. Д. — ФТП, 1987, т. 21, в. 4, с. 757—759.
- [8] Горбачева Н. И., Курбаков А. И., Мильвидский М. Г. — Кристаллография, 1986, т. 31, в. 5, с. 994—996.
- [9] Кустов В. Е., Мильвидский М. Г. — ФТП, 1986, т. 20, в. 2, с. 270—273.
- [10] Дашевский М. Я., Докучаева А. А., Абаева Т. В. — Изв. АН СССР, Неорг. матер., 1987, т. 23, в. 7, с. 1061—1064.
- [11] Васильев А. Л., Киселев Н. А., Докучаева А. А., Дашевский М. Я. — В кн.: Тез. докл. XIII Всес. конф. по электронной микроскопии. Сумы, 1987, т. 1, с. 196—197.
- [12] Rea S. N., Lawrence J. D., Anthony J. M. — J. Electrochem. Soc., 1987, v. 134, N 3, p. 752—753.
- [13] Morar J. F., Meyerson B. S., Karlsson U. O. — Appl. Phys. Lett., 1987, v. 50, N 8, p. 463—465.
- [14] Logan R. A., Rowell J. M., Trumbore F. A. — Phys. Rev., 1964, v. 136, p. 1751—1757.
- [15] Baginski T. A., Monkowski J. R. — J. Electrochem. Soc., 1986, v. 132, N 1, p. 242—247.
- [16] Заварицкая В. А., Кудинов А. В., Миляев В. А., Никитин В. А., Прохоров А. М., Ширков А. В. — ФТП, 1984, т. 18, в. 12, с. 2160—2165.
- [17] Kenshiro Nakashima. — Japan. J. Appl. Phys., 1987, v. 26, N 2, p. 312—313.

Московский институт
стали и сплавов

Получено 4.01.1988
Принято к печати 25.01.1988

ФТП, том 22, вып. 6, 1988

ВЛИЯНИЕ ПРИМЕСИ ОЛОВА НА НАКОПЛЕНИЕ РАДИАЦИОННЫХ ДЕФЕКТОВ В n -Si

Добровинский Ю. М., Соснин М. Г., Цмоць В. М., Шаховцов В. И.,
Шиндич В. Л.

Ранее [1] нами было показано, что при облучении большими потоками электронов в p -Si, легированном оловом, скорость накопления A -центров и дивакансий меньше, чем в контрольном материале. Это обусловлено эффективным захватом вакансий атомами олова. Было определено также, что вероятность захвата вакансий на олово (χ_{VSn}) в 3 раза превышает вероятность захвата вакансий на кислород (χ_{VO}). Представляет интерес проверить эти результаты на n -Si<Sn> при его облучении меньшими дозами γ -квантов.

Примесь олова вводилась в n -Si в процессе его выращивания из расплава. Контрольный материал n -Si выращивался в идентичных условиях и по своим параметрам практически не отличался от исследуемого. Содержание углерода и кислорода в легированных и контрольных образцах определялось по спектрам ИК поглощения, а содержание олова — нейтронно-активационным анализом (см. таблицу).

Образцы облучались γ -квантами ^{60}Co на установке МРХ-гамма-25М при 60 °С. Контроль за накоплением радиационных дефектов (РД) проводился методом нестационарной емкостной спектроскопии (DLTS) [2]. С этой целью на исследуемых образцах создавались барьеры Шоттки или p - n -переходы. Барьеры Шоттки получали методом термического напыления золота в вакууме на холодную подложку исследуемого материала, а p - n -переходы — диффузией алюминия при 1280 °С в течение 20 ч. Время жизни неосновных носителей тока в базе

определялось методом измерения переходных характеристик $p-n$ -переходов при воздействии на них синусоидальным сигналом [3].

Исследование дозовых зависимостей времени жизни неосновных носителей тока в базе $p-n$ -перехода на основе n -Si при γ -облучении показало, что введение примеси олова снижает его чувствительность к облучению приблизительно в 2 раза в отличие от контрольного n -Si (рис. 1).

Параметры исследованных образцов

Материал	ρ , Ом · см	$N_{Sn} \cdot 10^{-17}$, см $^{-3}$	$N_O \cdot 10^{-17}$, см $^{-3}$	$N_C \cdot 10^{-17}$, см $^{-3}$
n -Si	2	0	11	7.1
n -Si<Sn>	2	4	11	5.2

В исследуемых материалах при использованных дозах облучения по спектрам DLTS наблюдался только уровень A -центра $E_c - 0.17$ эВ. На рис. 2 приведены дозовые зависимости концентрации A -центров для n -Si<Sn> и контрольного материала, полученные для $p-n$ -переходов. Аналогичные зависимости наблюдались и в случае барьеров Шоттки. Видно, что скорость накопления

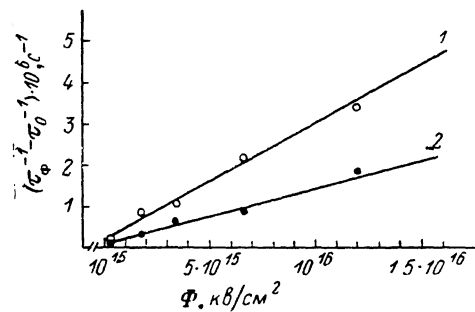


Рис. 1. Дозовые зависимости величины $\Delta \tau^{-1} = \tau_{\Phi}^{-1} - \tau_0^{-1}$ в контрольном n -Si (1) и n -Si<Sn> (2).

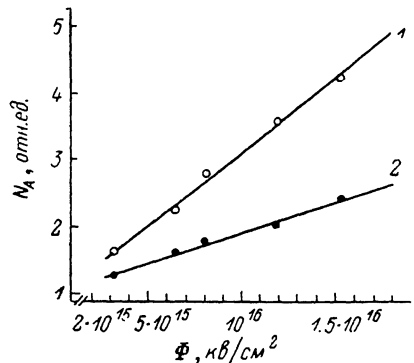


Рис. 2. Дозовые зависимости накопления A -центров в контрольном n -Si (1) и n -Si<Sn> (2).

A -центров в образцах кремния с оловом ниже, чем в контрольном кремнии. При данных дозах облучения наблюдались только линейные участки дозовых зависимостей накопления A -центров, по наклону которых были определены скорости введения A -центров в образцах, содержащих Sn (η_A^{Sn}), и в контрольных образцах (η_A^K). Оказалось, что $\eta_A^K / \eta_A^{Sn} \approx 2$. Так как примесный состав образцов обоих типов практически одинаков, можно предположить, что различие в скорости дефектообразования связано с присутствием атомов олова.

Уоткинсом [4] было показано, что в кремнии с примесью олова образуется радиационный дефект «вакансия+олово» с донорным уровнем $E_v + 0.35$ эВ. Различие в скорости образования A -центров, по-видимому, связано с конкурирующим захватом V атомами Sn.

Для оценки отношения вероятности захвата V атомами Sn к атомам O запишем кинетические уравнения, описывающие накопление A -центров в контрольном и легированном материалах,

$$\eta_A^K = z_{VO} N_V^K (N_O - N_A^K), \quad (1)$$

$$\eta_V^K = \lambda - z_{VO} N_V^K (N_O - N_A^K), \quad (2)$$

$$\eta_A^{Sn} = z_{VO} N_V^{Sn} (N_O - N_A^{Sn}), \quad (3)$$

$$\eta_V^{Sn} = \lambda - z_{VO} N_V^{Sn} (N_O - N_A^{Sn}) - z_{VSn} N_V^{Sn} (N_{Sn} - N_V^{Sn}), \quad (4)$$

где η_A^K , η_V^K — скорости образования A -центров и V в контрольном Si; η_A^{Sn} и η_V^{Sn} — в Si<Sn>; λ — скорость генерации пар Френкеля; N_A^K и N_A^{Sn} — концентрации A -центров в контрольном Si и в Si<Sn> соответственно. Определяя из (2) и (4) стационарные значения N_V^K и N_V^{Sn} при учете, что эксперимент проводился в области доз, при которых N_A^K и $N_A^{Sn} \ll N_0$, а $N_{VSn} \ll N_{Sn}$, и подставив их в (1) и (3), получим следующее выражение для отношений скоростей введения A -центров:

$$\frac{\eta_A^K}{\eta_A^{Sn}} = 1 + \frac{\chi_{VSn} N_{Sn}}{\chi_{V0} N_0}. \quad (5)$$

Учитывая, что в эксперименте $\eta_A^K/\eta_A^{Sn} \approx 2$, на основании (5) получим

$$\frac{\chi_{VSn}}{\chi_{V0}} = \frac{N_0}{N_{Sn}}. \quad (6)$$

Подставив в (6) значения N_0 и N_{Sn} , определим, что $\chi_{VSn}/\chi_{V0} \approx 2.9$. Этот результат, полученный на структурах на основе n -Si<Sn> при малых дозах γ -облучения, хорошо совпадает с ранее сделанной нами оценкой величины отношения χ_{VSn}/χ_{V0} на p -Si<Sn> при облучении большими дозами электронов.

Из рис. 1 видно, что легирование оловом n -Si снижает скорость деградации времени жизни при облучении. Это можно объяснить двумя причинами: во-первых, тем, что донорный уровень центра «вакансия+олово» находится в нижней половине запрещенной зоны и в n -Si<Sn> (в отличие от p -Si<Sn>) не является рекомбинационно-активным центром, и, во-вторых, снижением скорости накопления A -центров в n -Si<Sn> (рис. 2). Полученные данные позволяют предположить, что способность олова захватывать вакансии не зависит от типа проводимости кремния, дозы облучения, а также не изменяется при термообработках, связанных с диффузионным легированием.

Л и т е р а т у р а

- [1] Нейман В. Б., Соснин М. Г., Туровский Б. И., Шаховцов В. И., Шиндич В. Л. — ФТП, 1982, т. 16, в. 5, с. 901—903.
- [2] Lang D. V. — J. Appl. Phys., 1974, v. 45, N 7, p. 3014—3022.
- [3] Тхорик Ю. А. Переходные процессы в импульсных диодах. Киев, 1966. 243 с.
- [4] Watkins G. D. — Phys. Rev. B, 1975, v. 12, N 10, p. 4383—4390.

Дрогобычский государственный
педагогический институт
им. И. Франко

Получено 5.01.1988
Принято к печати 25.01.1988