

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Национальный исследовательский Томский политехнический университет
Национальный исследовательский Томский государственный университет
Томский государственный архитектурно-строительный университет
Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ НАУК

Сборник научных трудов
XII Международной конференция студентов и молодых ученых

21–24 апреля 2015 г.

PROSPECTS OF FUNDAMENTAL SCIENCES DEVELOPMENT

XII International Conference of students and young scientists

21–24 April, 2015

Томск 2015

УДК 50(063)
ББК 20л0
П27

Перспективы развития фундаментальных наук [Электронный П27 ресурс] : сборник трудов XII Международной конференция студентов и молодых ученых (Томск, 21–24 апреля 2015 г.) / Томский политехнический университет. – Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2015. – 1556 с.

ISBN 978-5-4387-0560-4

Сборник содержит труды участников XII Международной конференции студентов и молодых учёных «Перспективы развития фундаментальных наук». Включает доклады студентов и молодых ученых, представленные на секциях «Физика», «Химия», «Математика», «Биология и медицина», «Наноматериалы и нанотехнологии», «Технология», «Конкурс архитектурных работ», «IT-технологии и электроника».

Предназначен для студентов, аспирантов, молодых ученых, преподавателей в области естественных наук и высшей математики.

УДК 50(063)
ББК 20л0

Редакционная коллегия

И.А. Курзина, доктор физико-математических наук, доцент ТПУ.
Г.А. Воронова, кандидат химических наук, доцент ТПУ.
С.А. Поробова, инженер ТГАСУ.

ISBN 978-5-4387-0560-4

© ФГАОУ ВО НИ ТПУ,
электронный текст, 2015

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ЛЕГИРОВАНИЯ ОЛОВОМ ДИСПЕРСНОГО ОКСИДА ИНДИЯ

В.В. Жек, Р.А. Нефедов, В.И. Сачков

Научный руководитель: профессор, д.х.н. Т.Д. Малиновская

Национальный исследовательский Томский государственный университет,

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 36, 634050

E-mail: zhhek_v@sibmail.com

EFFECTIVENESS OF DOPING TIN DISPERSED INDIUM OXIDE

V.V. Zhek, R.A. Nefedov, V.I. Sachkov

Scientific Supervisor: Prof., Dr. T.D. Malinovskaya

Tomsk State University, Russia, Tomsk, Lenin str., 36, 634050

E-mail: zhhek_v@sibmail.com

***Annotation.** A method for determining the area of the formation of substitutional solid solutions in the system of In-Sn-O, have semiconducting properties.*

Широкое применение полупроводниковых материалов в современной технике во многом определяется возможностью контроля концентрации носителей заряда легированием полупроводников гетеровалентной примесью. В настоящей работе предлагается методика оценки эффективности легирования дисперсного оксида индия оловом.

В соответствии с существующими классическими представлениями о формировании примесной проводимости в полупроводниковых соединениях, при замещении атома основной решетки атомом примеси, имеющим другую степень окисления, атом примеси отдает (в случае, когда его степень окисления выше степени окисления замещаемого атома), либо забирает (в случае, когда его степень окисления меньше степени окисления замещаемого атома) электроны, причем, количество электронов соответствует разнице степеней окисления атома примеси и замещаемого атома. Следовательно, можно считать, что в случае, когда эффективность легирования (число электронов приходящихся на один атом примеси) соответствует разнице степеней окисления примесного и основного атомов, т.е. теоретическому количеству электронов (дырок), которые должны образовываться в полупроводнике при его легировании, в системе происходит образование твердого раствора замещения. В случае, когда эффективность легирования меньше теоретического количества электронов (дырок) которые должны образовываться в полупроводнике при его легировании, однако рентгенофазовый анализ не показывает наличия второй фазы, в системе, наряду с образованием твердого раствора замещения образуются фазы твердых растворов внедрения и (или) вычитания. Для определения эффективности легирования необходимо определение теоретической и действительной концентрации свободных носителей заряда, формулу расчета которых в полупроводниковом материале в зависимости от концентрации легирующей примеси можно представить следующим образом:

$$N_{e_{теор}} = \frac{N_a \rho z}{M} \cdot \frac{C}{100},$$

«ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ НАУК»

где $N_{e_{теор}}$ - теоретическая концентрация свободных носителей заряда, см⁻³; N_a - число Авогадро, моль⁻¹; ρ - плотность материала, г/см³; M - молярная масса материала, г/моль; C - концентрация легирующей примеси, ат. %; z - стехиометрический коэффициент.

Определяем отношение величины истинной концентрации свободных носителей заряда к $N_{e_{теор}}$:

$$N_{e_{yo}} = \frac{N_{e_{ист}}}{N_{e_{теор}}} = \frac{100N_{e_{ист}} M}{zN_a \rho}$$

При замещении атома индия оловом (IV) атом олова должен давать в зону проводимости один электрон. При этом следует учесть то, что молекула SnO₂ и молекула In₂O₃ по стехиометрии соотносятся как 1:2 по атомам металла. С учетом этого получим следующие выражения для теоретической и удельной концентрации свободных носителей заряда:

$$N_{e_{теор}} = \frac{zN_a \rho}{100M} C_{Sn} = \frac{2 \cdot 6,02 \cdot 10^{23} \cdot 7,1}{100 \cdot 277,64} C_{Sn} = 3 \cdot 10^{20} C_{Sn},$$

$$N_{e_{yo}} = \frac{N_{e_{ист}}}{N_{e_{теор}}} = \frac{N_{e_{ист}}}{3 \cdot 10^{20} C_{Sn}}.$$

Видно, что теоретическая концентрация свободных носителей заряда должна быть прямо пропорциональна концентрации легирующей примеси. Однако на практике это соблюдается только в области формирования твердого раствора замещения, когда все атомы легирующего компонента замещают узлы кристаллической решетки основного материала, при этом эффективность легирования должна быть на уровне 1. Таким образом, если величина эффективности легирования меньше 1, это может свидетельствовать о том, что $100 \cdot (1 - N_{e_{yo}})$ % атомов введенного легирующего компонента не участвуют в замещении атомов основного компонента и, соответственно, в системе, помимо твердого раствора замещения, возможно, образуется другая фаза твердого раствора или химического соединения.

Применение предложенной методики определения области формирования твердых растворов замещения, соответствует всем классическим представлениям о формировании примесной проводимости полупроводников и позволяет определять границы существования твердых растворов замещения с достаточно высокой точностью, определяемой точностью определения истинной концентрации свободных носителей заряда в полупроводниковом материале. Определение концентрации свободных носителей заряда в полупроводнике возможно рядом стандартных методов, например, по положению длины волны плазменного резонанса или по измерениям эффекта Холла.

На рисунке 1 представлены зависимости, отражающие изменение эффективности легирования дисперсных индийоловооксидных материалов в зависимости от условий синтеза. Методика синтеза описана в работе [1]. Характер кривых свидетельствует о том, что независимо от условий и природы исходных реагентов, эффективность легирования в ИТО материалах уменьшается с увеличением концентрации олова. Причем, повышенное легирование в области малых концентраций олова (< 1 ат. %) в значительной степени превышает значения, допустимые согласно модельным представлениям, предложенным в [2]. Такое увеличение эффективности легирования при малых концентрациях легирующей примеси, может свидетельствовать о значительном вкладе дефектности кристаллической структуры легированного оксида индия, а также о возможности формирования в кристаллитах материала

электроннодонорных слоистых мезоструктур. Возможность формирования таких структур может быть объяснена наноструктурными особенностями строения кристаллитов индийоловооксидных материалов, получаемых золь – гель методом, обуславливающих наличие повышенного концентрирования олова в приповерхностных слоях кристаллитов, о чем указывалось в [3]. Нивелирование данного эффекта при увеличении концентрации легирующей примеси может быть объяснено расслоением фазы твердого раствора в приповерхностных слоях с образованием непроводящей фазы SnO_2 . В случае существования таких электронных мезоструктур, наблюдаемая концентрация свободных носителей заряда представляет собой интегрально усредненную величину по толщине образца.

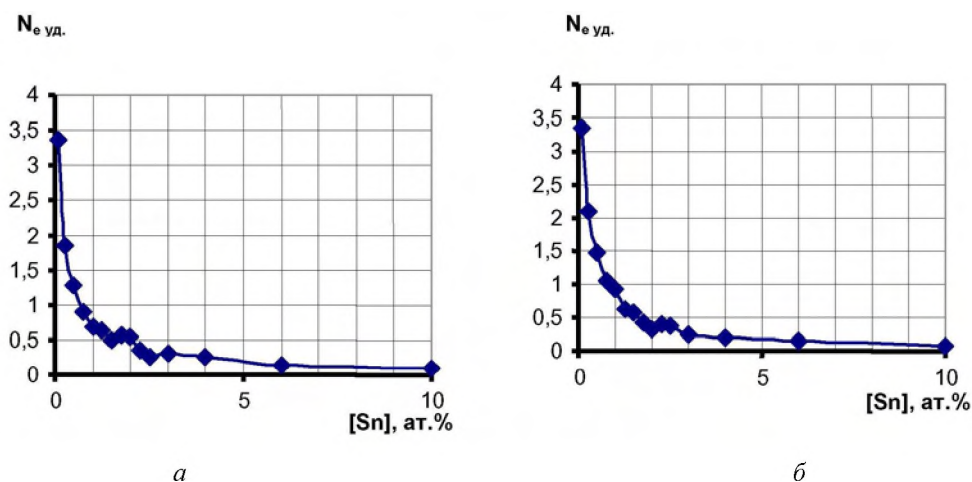


Рис. 1. Зависимость удельной концентрации свободных носителей заряда в ИТО материалах от концентрации введенного олова, для ИТО, полученных золь-гель методом из хлоридных растворов (а) и из нитратных растворов (б), и отожженных в течение 10 часов при температуре 1000°C

Исследования показали, что наибольшая эффективность легирования достигается при низких значениях олова, однако, в этом случае, ввиду недостаточно высокой концентрации легирующей примеси, не удастся достичь высоких значений N_e . В этой связи оптимальным, по-видимому, следует считать область концентраций легирующей примеси $(0,75 \pm 0,25)$ ат. %. Дальнейшее увеличение концентрации легирующей примеси – олова, приводит к снижению эффективности легирования и не позволяет повысить концентрацию свободных носителей заряда, что обусловлено расслоением фазы твердого раствора в поверхностных слоях с образованием непроводящей фазы SnO_2 на поверхности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Малиновская Т.Д., Егоров Ю.П., Найден Е.П., Сачков В.И., Сачкова Е.И. Твердофазный синтез индийоловооксидных материалов // Химия в интересах устойчивого развития. – 2002. – № 10. – С. 735–741.
2. Nadaud N., Boch P. Indium oxide ceramics with titania additions, pt.2 // J. Euro Ceramics. – 1997. – V.5. – P. 928–931.
3. Cox P.A., Flavell W.R., Egdell R.G. Solid-State and Surface Chemistry of Sn-doped In_2O_3 ceramics // J. Solid State Chem. – 1987. – V. 68. – P.340–350.