

Для того чтобы минимизировать, а в лучшем случае исключить вредные выбросы веществ со стороны 3D-принтера, применим технологию фильтрации воздуха средствами HEPA фильтров.

Для того, чтобы проводить очистку воздуха во время работы, будем использовать самый эффективный из доступных HEPA фильтров – класс H12. Его эффективности (99,5 %) и способности фильтровать частицы размером более 0,4 мкм, вполне достаточно для фильтрации 80 процентов частиц, образующихся при работе принтера.

Для того, чтобы удерживать наибольшее количество частиц в объеме принтера спроектируем короб, покрывающий весь принтер целиком. Конструкция в сборе представлена на рис. 2.

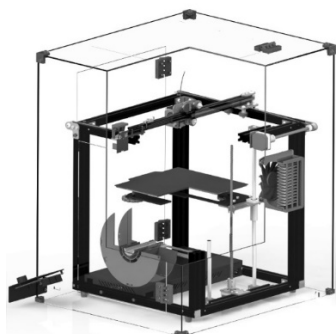


Рисунок 2 – Конструкция кожуха 3D-принтера с системой фильтрации воздуха

В качестве нагнетающего воздух устройства будем использовать два вентилятора, диаметром

120 миллиметров каждый. В технических характеристиках вентиляторов указано, что каждый из них обладает производительностью в 25 литров в секунду, что при внутреннем объеме кожуха принтера в 175 литров, позволит пропустить через фильтр весь объем воздуха примерно за 3 секунды.

Данный метод – самая простая и дешевая мера защиты от вредных выбросов 3D-принтера, которая должна быть предусмотрена изготовителем в каждом выпускаемом принтере.

Так же, могут быть использованы и другие методы фильтрации воздуха, например: ионнообменный, плазмохимический или плазмокаталитический. Однако технологии этих методов тяжело применимы для категории принтеров базового уровня из-за их сложности, габаритов, либо высокой стоимости.

В заключение, можно сделать вывод о необходимости более детального изучения данной темы, обязательном использовании различных систем местной и общеобменной вентиляции в помещениях 3D-печати, использовании фильтрующих систем, а также о необходимости создания стандартов безопасности в сфере аддитивных технологий.

Литература

1. Aika Davis. VOC Emissions from FDM Desktop 3D Printers / Aika Davis // Underwriters Laboratories Inc. – Atlanta, GA: Safety Science of 3D Printing Summit. – 2017.
2. Guarnieri, M. Outdoor air pollution and asthma / M. Guarnieri, J. R. Balmes // The Lancet. – 2014. – Vol. 383 (9928). – P. 1581–1592.

УДК 539.216;539.22

ТЕКСТУРА БЫСТРОЗАТВЕРДЕВШИХ ФОЛЬГ ОЛОВА, ИНДИЯ, ВИСМУТА И ИХ СПЛАВОВ Шепелевич В.Г.¹, Гольцев М.В.², Гусакова О.В.³, Гусакова С.В.¹

¹Белорусский государственный университет

²Белорусский государственный медицинский университет

³Международный государственный экологический институт имени А.Д.Сахарова БГУ,
Минск, Республика Беларусь

Аннотация. Представлены результаты исследования состава и ориентации зерен в фольге олова, индия, висмута и их сплавов. Установлено формирование текстуры при высокоскоростном затвердевании, предложен механизм преимущественного роста зерен в фольге в зависимости от типа кристаллической решетки и сил связей в ней.

Ключевые слова: Высокоскоростное затвердевание, олово, индий, висмут, сплавы, текстура.

TEXTURE OF RAPIDLY HARDENED TIN, INDIUM, BISMUTH FOILS AND THEIR ALLOYS Shepelevich V.¹, Goltsev M.², Gusakova O.³, Husakova S.¹

¹Belarusian State University

²Belarusian State Medical University

³International Sakharov Environmental Institute BSU,
Minsk, Republic of Belarus

Abstract. The results of studying the composition and orientation of grains in the foil of tin, indium, bismuth and their alloys are presented. The formation of texture during high-speed solidification has been established, and a mechanism for preferential grain growth in foil has been proposed depending on the type of crystal lattice and bond strengths in it.

Key words: high speed solidification, tin, indium, bismuth, alloys, texture.

Адрес для переписки: Гусакова С.В., пр. Независимости, 4, Минск 220030, Республика Беларусь
e-mail: husakova@bsu.by

Сплавы на основе олова, индия и висмута, не содержащие свинец и кадмий, используются в качестве легкоплавких припоев, безопасных для человека и окружающей среды. Используемые металлы являются анизотропными и их свойства, и свойства сплавов на их основе зависят от текстуры (преимущественной ориентации зерен). Текстура должна быть учтена при изготовлении припоев и другой продукции. Вопреки большому количеству исследований указанных легкоплавких сплавов, формирование текстуры изучено недостаточно. Поэтому в данном сообщении представлены результаты исследования текстуры олова, индия, висмута и их твердых растворов, эвтектики и промежуточных фаз.

Текстура быстрозатвердевших фольг изучена рентгеновским методом, используя обратные полюсные фигуры. Полюсные плотности p_{hkl} , дифракционных линий рассчитаны методом Харриса. А также методом ДОЭ с помощью дифракционной приставки фазового анали к растровому электронному микроскопу. Анализировалась зеренная структура на поверхность фольги, контактирующей с поверхностью кристаллизатора. Для изготовления фольги кусочек сплава вырезался из

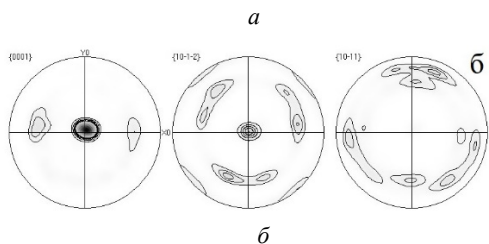
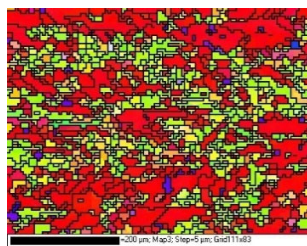
слитка, затем расплавлялся в кварцевой ампуле при температурах 450–600 К и капля расплава инжестрировалась на внутреннюю полированную поверхность быстровращающегося медного цилиндра. Толщина быстрозатвердевших фольг 30–80 мкм. Согласно вычислениям [1], скорость охлаждения расплава составила 10^5 – 10^6 К/с.

Быстрозатвердевшие фольги олова имели текстуру (100), индия – (101), висмута – двойную текстуру $(10\bar{1}2) + (0001)$ (табл.1). Плоскости (100) олова и (101) индия и их твердых растворов имеют наибольшую плотность атомов, что и определяет преимущественный рост зерен с такой ориентацией и формирование текстуры [2].

Формирование текстуры $(10\bar{1}2)$ в фольгах висмута и его сплавах вызвано кристаллической структурой и ориентацией ковалентных связей, которые образуют между собой углы $95,5^\circ$. Две ковалентные связи каждого атома располагаются в одной плоскости $(10\bar{1}2)$. Третья ковалентная связь связывает два атома, находящихся в соседних плоскостях $(10\bar{1}2)$. Разорванные ковалентные связи захватывают атомы жидкой фазы, что и ведет к быстрому росту зерен, в которых плоскости $(10\bar{1}2)$ перпендикулярны направлению теплового потока [8].

Таблица 1. Полюсные плотности дифракционных линий олова, индия, висмута и их сплавов

Sn	Sn	In	In	Bi	Bi	Bi-2ат.%Sn	Bi-2ат.%In
Дифракц. линии	Полюсные плотн.	Дифракц. линии	Полюсные плотн.	Дифракц. линии	Полюсные плотн.	Полюсные плотн.	Полюсные плотн.
200	5,9	002	0,7	$10\bar{1}2$	4,1	8,9	7,1
101	0,1	110	0,6	$10\bar{1}4$	0,1	0,2	0,1
220	0,0	112	0,7	$11\bar{2}0$	0,2	0,1	0,4
211	0,0	200	0,4	$10\bar{1}5$	0,3	0,2	0,4
301	0,0	103	0,7	$20\bar{2}2$	0,5	0,2	0,5
112	0,0	211	0,7	$10\bar{1}7$	0,1	0,1	0,2
-	-	202	3,5	$20\bar{2}5$	0,3	0,1	0,2
-	-	213	0,6	$21\bar{3}0$	1,0	0,1	0,1
-	-	-	-	$12\bar{3}2$	1,0	0,1	0,3
-	-	-	-	0009	3,2	0,1	1,1



а – зеренная структура, б – полюсная фигура

Рисунок 1 – Текстура фольги Bi

На рис. 1 приведена карта ориентации зерен и полюсная плотность висмута, полученная методом ДОЭ.

Индий и олово образуют β -фазу (In_3Sn) и γ -фазу ($InSn_4$). Быстрозатвердевшие фольги β -фазы имеют текстуру (101) и γ -фаза – текстуру (0001). Формирование текстур в этих фазах вызвано наибольшей плотностью атомов в соответствующих плоскостях, что определяет преимущественный рост с такой ориентацией. Текстура быстрозатвердевших фольг эвтектики In-47 ат. % Sn (101) β -фазы и $(10\bar{1}2)$ γ -фазы [3].

Быстрозатвердевшие фольги сплава $Bi_{32}In_{41}Sn_{27}$ состоят из ϵ - ($InBi$) и γ -фазы ($InSn_4$). В табл. 2 приведены значения полюсных линий этих фаз. В ϵ -фазе наблюдается слабовыраженная двойная текстура (211) + (112), а в γ -фазе – четкая текстура (0001). Формирование текстуры в γ -фазе связана с тем, что плоскость (0001) является наиболее плотноупакованной. Исследования быстрозатвердевших фольг

тройных сплавов на основе висмута, индия и олова показали, что наблюдается формирование двойных текстур висмута ($10\bar{1}2$) + (0001), ϵ -фазы (InBi) (102) + (101) и олова (100), соответственно.

Таблица 2. Полусные плотности дифракционных линий ϵ - и γ -фазы фольги сплава $\text{Bi}_{32}\text{In}_{41}\text{Sn}_{27}$

Дифракц. линии	ϵ -фаза	Дифракц. линии	γ -фаза
111	0,6	$10\bar{1}1$	0,0
200	0,3	$11\bar{2}0$	0,1
002	0,2	0002	5,2
102	0,7	$11\bar{2}1$	0,2
211	2,0	$20\bar{2}0$	0,1
112	2,0	$20\bar{2}1$	0,4
220	1,7	-	-
202	0,8	-	-
212	0,7	-	-

Таким образом, формирование текстуры олова, индия и висмута, а также бинарных и тройных сплавов на их основе определяется плотностью атомов в плоскостях и ориентацией ковалентных связей.

Литература

1. Мирошниченко, И. С. Закалка из жидкого состояния / И. С. Мирошниченко. – М.: Металлургия, 1982. – 168 с.
2. Гусакова, О. В. Зеренная структура и текстура быстрозатвердевших фольг олова, полученных при различных режимах сверхбыстрого охлаждения / О. В. Гусакова, В. Г. Шепелевич // *Материалы, технологии, инструменты*. – 2010. – Т. 15, № 2. – С. 54–57.
3. Шепелевич, В. Г. Текстура быстрозакаленных фольг висмута, сурьмы и их сплавов / В. Г. Шепелевич // *Кристаллография*. – 1991. – Т. 36, № 1. – С. 238–239.

УДК 621.315.592; 539.12.04

МОДЕЛЬ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОЙ ЭВОЛЮЦИИ КОНЦЕНТРАЦИИ ВОЗБУЖДЕННЫХ НОСИТЕЛЕЙ ЗАРЯДА В АКТИВНОЙ ОБЛАСТИ ПРИБОРОВ ЭЛЕКТРОНИКИ ПРИ ОБЛУЧЕНИИ ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКИМИ ИОНАМИ

Ювченко В.Н., Комаров А.Ф., Мискевич С.А., Ермолаев А.П.

*НИУ «Институт прикладных физических проблем имени А.Н.Севченко» БГУ
Минск, Республика Беларусь*

Аннотация. Проведены расчеты пространственно-временной эволюции концентрации носителей заряда для начальных стадий формирования трека иона (до 10^{-13} с) в кремниевых структурах, облучаемых ионами Fe и Xe с энергиями до 547 МэВ. Рассчитанная максимальная концентрация возбужденных электронов в центральной области трека иона Xe с энергией 547 МэВ составляет $1,6 \cdot 10^{23} \text{ см}^{-3}$ и сохраняется равной $5,4 \cdot 10^{21} \text{ см}^{-3}$ к моменту времени 100 фс. Получены аналитические приближения рассчитанных зависимостей концентрации электронов от времени и расстояния до центра трека иона.

Ключевые слова: кремниевые приборные структуры, одиночные случайные эффекты, быстрые тяжелые ионы, моделирование, метод Монте-Карло.

THE MODEL OF TIME AND SPACE EVOLUTION OF EXCITED CARRIERS DENSITY IN THE ACTIVE REGION OF ELECTRONICS DEVICES IRRADIATED WITH HIGH-ENERGY IONS

Yuvchenko V., Komarov A., Komarov F., Yermalaeu A.

*A.N. Sevchenko Scientific-Research Institute of Applied Physics Problems BSU
Minsk, Republic of Belarus*

Abstract. Time and space evolution of excited carriers density for the initial stages (up to 10^{-13} s) of ion track formation in the silicon structures irradiated with Fe and Xe ions have been simulated. The calculated maximum concentrations of excited electrons in the central region of Xe ion track with an energy of 547 MeV is $1.6 \cdot 10^{23} \text{ cm}^{-3}$ and remains as high as $5.4 \cdot 10^{21} \text{ cm}^{-3}$ by the time of 100 fs. Analytical approximations of calculated dependencies are obtained.

Key words: silicon transistor structures, single event effects, swift heavy ions, simulation, Monte-Carlo method.

*Адрес для переписки: Ювченко В.Н., ул. Курчатова, 7, Минск 220045, Республика Беларусь
e-mail: yuvchenko@bsu.by*

Актуальной задачей при производстве интегральных микросхем и дискретных силовых МОП-транзисторов, используемых в космических аппаратах, является повышение их радиационной стойкости к одиночным случайным эффектам (ОСЭ) как непосредственно от тяжелых заряженных частиц (ТЗЧ), входящих в состав

космических лучей, так и от вторичных ионов, создаваемых в результате ядерных столкновений протонов космической радиации с ядрами вещества. Энергии, выделенной такой частицей в приборной структуре, достаточно, чтобы произвести на очень короткое время сверхвысокоплотную электронную плазму вдоль траектории иона. Со-