

УДК 621.362:621.383

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ВАКУУМ-ТЕРМИЧЕСКОГО НАПЫЛЕНИЯ ТОНКИХ ПЛЕНОК GaSb

К. т. н. В. В. Курак, к. т. н. Е. В. Андропова, к. т. н. Е. А. Баганов, В. В. Томилова

Херсонский национальный технический университет
Украина, г. Херсон
vk_74@mail.ru

Представлены результаты расчета потоков Ga и Sb, конденсирующихся на поверхности подложки, в зависимости от технологических режимов вакуум-термического напыления тонких пленок GaSb. Исходя из равенства потоков конденсирующихся компонентов, определены необходимые температуры источников Ga и Sb, обеспечивающие стехиометричность состава конденсирующейся пленки. Осуществлена экспериментальная проверка корректности результатов расчета.

Ключевые слова: вакуум-термическое напыление, тонкая пленка, GaSb.

На сегодняшний день антимонид галлия рассматривается как один из наиболее перспективных материалов для создания на его основе фотовольтаических преобразователей инфракрасного излучения, а также высокоэффективных каскадных солнечных элементов. Активные структуры таких приборов в настоящее время изготавливаются из монокристаллического антимонида галлия с $p-n$ -переходом, обеспечивающим пространственное разделение фотогенерированных носителей заряда. В то же время, ведутся исследования, направленные на поиск альтернативных $p-n$ -переходу барьерных структур. Так, в [1] продемонстрирован выпрямляющий эффект и исследованы фотоэлектрические свойства структуры «собственный оксид антимонида галлия – GaSb», что является предпосылкой для разработки эффективных тонкопленочных фотовольтаических преобразователей не только на основе монокристаллических слоев GaSb, но и на основе поликристаллических и аморфных пленок.

Одним из наиболее распространенных и сравнительно простых в аппаратной реализации методов получения тонких пленок материалов электронной техники, в том числе полупроводниковых слоев, является вакуум-термическое напыление [2]. Однако использование данного метода для получения пленок соединений A^3B^5 стехиометрического состава, таких как GaSb, требует реализации различных температур испарителей компонентов A и B для обеспечения равенства потоков конденсирующихся на поверхности подложки элементов, что обусловлено существенным различием давления насыщенного пара элементов третьей и пятой групп Периодической системы Д. И. Менделеева.

Целью данной работы является определение технологических параметров процесса вакуум-термического напыления, обеспечивающих стехиометричность потоков галлия и сурьмы при конденсации пленок GaSb.

Расчет потоков конденсирующихся на поверхности подложки компонентов производился по методике, представленной в [3]. Полагалось, что поверхности источников испаряемых веществ и подложки расположены параллельно и осесимметрично, а в вакуумной камере реализуется молекулярный режим напыления (критерий Кнудсена $Kn \geq 20$).

Плотности потоков конденсирующихся компонентов для указанных условий определились по выражению

$$j_k = \alpha_k \frac{j_u F_u}{\pi L^2} \left(1 + \frac{b^2}{L^2} \right)^{-2} - \alpha_p \frac{P_k^0}{(2\pi RT_k M)^{0.5}}, \quad (1)$$

где α_k , α_p – соответственно коэффициент конденсации (принимавшийся равным единице) и коэффициент реиспарения; j_u – плотность потока испаряющегося компонента, пропорциональная давлению его насыщенного пара при температуре испарителя T_u ; F_u – площадь поверхности испарителя; L – расстояние по нормали от поверхности испарителя до центра подложки; b – расстояние от центра подложки до текущей точки на

ее поверхности ($b = 0$ для центра подложки); p_k^0 – давление насыщенного пара напыляемого вещества с молярной массой M при температуре конденсации T_k ; R – универсальная газовая постоянная.

Расчеты, произведенные по выражению (1) для потоков галлия и сурьмы в широком диапазоне температур конденсации, показали, что при температурах подложки $T_k < 600$ К реиспарением сконденсировавшихся компонентов (второе слагаемое) можно пренебречь в силу значительного различия в давлении насыщенного пара при температурах $T_k < T_{и}$. Получены зависимости плотности потоков конденсации галлия и сурьмы в диапазоне температур испарителей 600—1300 К, позволяющие, исходя из равенства потоков компонентов, определить необходимые значения температур испарителей при фиксированном значении T_k . В таблице представлены результаты расчетов технологических параметров вакуум-термического напыления пленок GaSb для ряда значений плотности потоков конденсирующихся компонентов при $T_k = 300$ К, $L = 0,2$ м и $b = 0$ (центр подложки), а также расчетные скорости роста пленки w_p при соответствующих потоках.

Расчетные параметры процесса вакуум-термического напыления пленок GaSb при $T_k = 300$ К

j_k , моль/(см ² ·с)	$T_{и}$ (Ga), К	$T_{и}$ (Sb), К	w_p , мкм/мин
$1 \cdot 10^{-12}$	995	665	$2 \cdot 10^{-5}$
$1 \cdot 10^{-11}$	1070	720	$2 \cdot 10^{-4}$
$1 \cdot 10^{-10}$	1160	780	$2 \cdot 10^{-3}$
$1 \cdot 10^{-9}$	1270	870	$2 \cdot 10^{-2}$

Анализ данных таблицы с точки зрения приемлемых значений скорости роста пленки указывает на то, что для получения слоев GaSb микронной и субмикронной толщины наибольший интерес представляют технологические параметры, обеспечивающие $j_k \geq 1 \cdot 10^{-10}$ моль/(см²·с). В то же время, для получения пленок с толщиной несколько нанометров могут быть использованы и режимы с меньшими потоками конденсирующихся компонентов (меньшими температурами испарителей).

Экспериментальная проверка корректности результатов расчета осуществлялась путем проведения серии процессов по напылению пленок GaSb с расчетной толщиной 1 мкм на подложки из кварца в вакуумной камере установки УВР-3М. Температура источника галлия устанавливалась равной 1270 К, а источника сурьмы — 870 К. Подогрев подложки не производился. Температуры контролировались термодатчиками преобразователями ТХА с точностью ± 1 К. Толщина пленок определялась в центральной части подложек с помощью микроинтерферометра МИИ-4 и составляла $0,87 \pm 0,11$ мкм, что коррелирует с расчетной толщиной. Более низкие по сравнению с расчетными значения толщины экспериментально полученных пленок могут объясняться, в частности, значениями коэффициента конденсации α_k , меньшими единицы.

Таким образом, представленный расчет технологических параметров вакуум-термического напыления GaSb из стехиометрических потоков конденсирующихся компонентов является корректным и может быть использован для определения необходимых температур испарителей галлия и сурьмы при получении пленок антимонида галлия как микронной, так и субмикронной толщины.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Рудь В.Ю., Рудь Ю.В., Теруков Е.И. и др. Гетеропереходы собственный окисел р-GaSb(O_x)/n-GaSb: безвакуумный процесс и фотоэлектрические свойства // ФТП. – 2014. – Т. 48, вып. 4. – С. 471–474.
2. Готра З.Ю. Технология микронных устройств: Справочник. – Москва: Радио и связь, 1991.
3. Соколов И.А. Расчеты процессов полупроводниковой технологии. – Москва: Металлургия, 1994.

V. V. Kurak, E. V. Andronova, Ye. A. Baganov, V. V. Tomilova

Determination of technological parameters for vacuum-thermal deposition of GaSb thin films.

The results of calculation of Ga and Sb condensing flows depending on the technological conditions of vacuum-thermal deposition of GaSb thin films are presented. Basing on equality of flows for both components the required temperatures of Ga and Sb sources providing the stoichiometry of the condensing film are determined. The experimental verification of the correctness of calculation results is carried out.

Keywords: *vacuum-thermal deposition, thin film, GaSb.*