

## ПОЛУЧЕНИЕ ТЕКСТУРИРОВАННЫХ ПЛЕНОК АНТИМОНИДА НИКЕЛЯ

© 2023 г. В. А. Лузанов\*

Фрязинский филиал Института радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН,  
пл. Введенского, 1, Фрязино Московской обл., 141190 Российская Федерация

\*E-mail: valery@luzanov.ru

Поступила в редакцию 11.06.2023 г.

После доработки 11.06.2023 г.

Принята к публикации 25.06.2023 г.

Впервые показано, что при осаждении никеля на нагретую подложку из антимолида галлия возникает диффузия атомов сурьмы из подложки в растущую пленку и образуется пленка антимолида никеля, обладающая аксиальной текстурой с осью, перпендикулярной плоскости пленки вдоль направления (101).

DOI: 10.31857/S0033849423120112, EDN: GBNCEC

Антимонид никеля относится к классу бинарных пниктидов, кристаллическая решетка которых образована соединением переходного металла, в данном случае никеля, с пниктогеном, в данном случае сурьмой, и принадлежит к пространственной группе  $R\bar{6}_3/mmc$ . Параметры гексагональной решетки  $a = 3.953 \text{ \AA}$  и  $c = 5.141 \text{ \AA}$ . В природе встречается достаточно редко в виде минерала брейтауптит. Исследования поликристаллов антимолида никеля показали наличие у них парамагнетизма Паули [1]. Сочетание магнитных и структурных свойств NiSb делает этот материал весьма перспективным при создании приложений спинтроники. На сегодняшний день опубликовано весьма ограниченное количество работ, посвященных росту пленок NiSb. Так, в работе [2] методом молекулярно-лучевой эпитаксии осаждались монокристаллические пленки антимолида никеля на подложке арсенида галлия. О получении поликристаллических пленок NiSb методом магнетронного распыления мишени, спрессованной из смеси никеля и сурьмы, сообщалось в [3].

В данной работе приведены результаты исследования роста и структурных характеристик тонких пленок антимолида никеля, впервые полученных в результате осаждения тонкого слоя никеля на нагретую подложку из антимолида галлия.

Для напыления пленок никеля было использовано магнетронное распыление никелевой мишени на постоянном токе в атмосфере аргона. Остаточное давление в камере составляло  $10^{-6}$  мбар. Подложку нагревали до заданной температуры, которая в разных экспериментах варьировалась от комнатной до  $300^\circ\text{C}$ . Затем в камеру напускали аргон до давления  $6 \times 10^{-3}$  мбар. Скорость осаждения пленки поддерживали на уровне 400 нм/ч. После

осаждения структуру пленок исследовали методом рентгеновской дифрактометрии с использованием автоматизированного двухкристального дифрактомера ДРОН-3 с кварцевым монохроматором. Длина волны излучения рентгеновской трубки составляла 0.15406 нм.

Осаждение пленки никеля на ненагретую подложку, как ожидалось, приводило к росту аморфного слоя никеля, что доказывает дифрактограмма, приведенная на рис. 1а. При осаждении пленки на нагретую до  $300^\circ\text{C}$  подложку, наблюдали образование пленки антимолида никеля. На дифрактограмме (рис. 1б) кроме пиков от подложки GaSb можно видеть единственный пик, соответствующий отражению от плоскости  $(10\bar{1}1)$  антимолида никеля. Для определения степени разориентации пленки была измерена кривая качания, приведенная на рис. 2. Полуширина кривой качания составила примерно 1.5 град, это свидетельствует о том, что полученная пленка довольно хорошо ориентирована. При съемке образца, вращающегося вокруг оси, перпендикулярной плоскости подложки (так называемый phi-scan) не обнаружено какой-либо преимущественной ориентации. Это означает, что в данном случае имеется аксиальная текстура (101). Обычно для материалов с гексагональным типом кристаллической решетки характерным является образование аксиальной текстуры вдоль направления  $[001]$  из-за того, что плоскость (001) обладает наименьшей поверхностной энергией и, при равновесных условиях, это направление роста является наиболее энергетически выгодным. В условиях, приведенных в данной статье, наблюдается необычная ориентация оси текстуры. Это можно объяснить тем, что в данном случае процесс кристаллизации

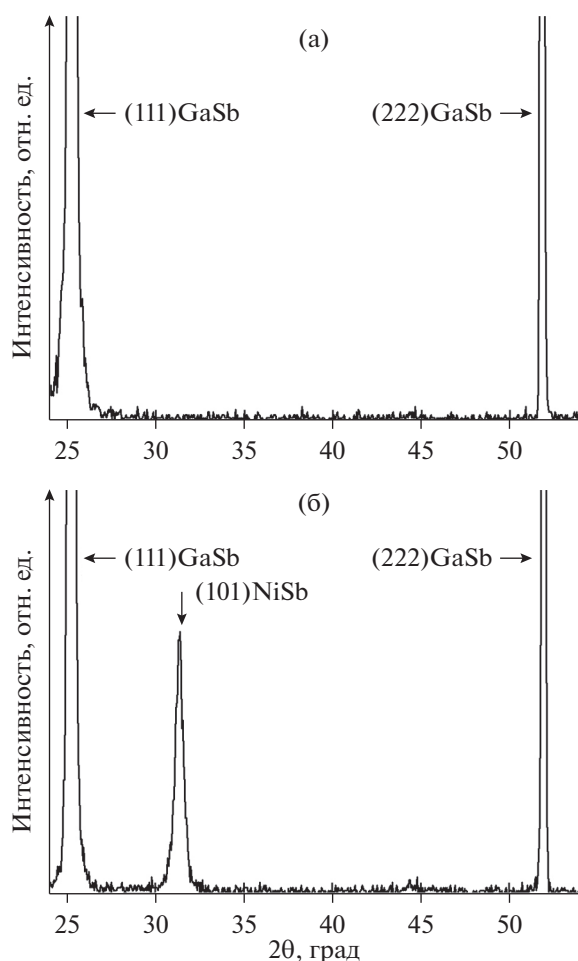


Рис. 1. Рентгеновские дифрактограммы от пленок, осажденных на подложке из антимонида галлия: а – после напыления никеля на ненагретую подложку; б – после напыления никеля при температуре 300°C.

не является равновесным. А образование текстуры именно вдоль оси [101] связано с тем, что в структуре антимонида индия плоскость (101) является плоскостью спайности, которая характеризуется наименьшей силой сцепления между плоскостями с этими индексами. Для определения, как влияет последующий отжиг на пленку никеля, осажденную при комнатной температуре, полученную структуру сразу после напыления помещали в вакуумную печь при температуре 300°C на один час. Оказалось, что в этом случае также происходит образование антимонида никеля, однако какая-либо текстура отсутствует. Дифрактограмма, приведенная на рис. 3, показывает наличие поликристалла NiSb без преимущественной ориентации. С использованием метода Шеррера по ширине дифракционных линий были определены размеры областей когерентного рассеяния. Они составили 15 нм при толщине пленки около 40 нм.

Таким образом, в результате проведенных исследований показано, что при осаждении тонкой

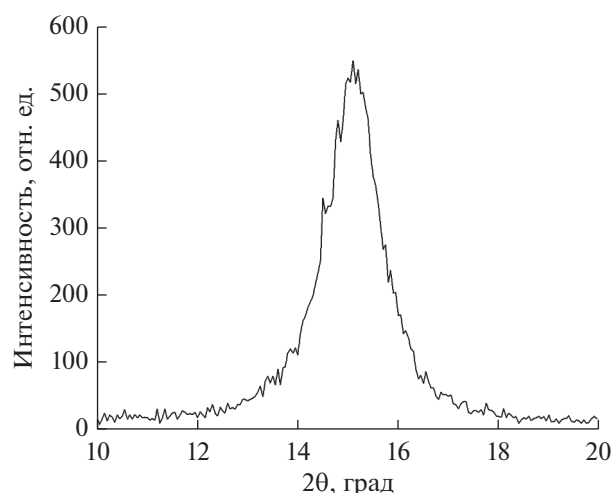


Рис. 2. Кривая качания от плоскости (101) пленки антимонида никеля.

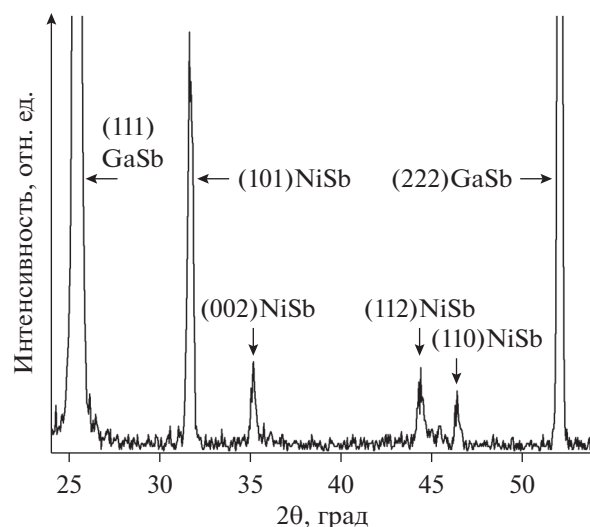


Рис. 3. Рентгеновская дифрактограмма после отжига пленки никеля, напыленной на ненагретую подложку.

пленки никеля на подложку из антимонида галлия образуется слой антимонида никеля в виде аксиальной текстуры с ориентацией (101), перпендикулярной поверхности подложки.

#### ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ

Работа выполнена в рамках государственного задания № 075-01110-23-01.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Kobayashi H., Kageshima M., Kimura N. et al. // J. Magn. Magn. Mat. 2004. V. 272–276. P. E247.
2. Aldous J.D., Burrows C.W., Maskery I. et al. // J. Cryst. Growth. 2012. V. 357. P. 1.
3. Zheng W., Yu X., Guo Zh. et al. // Materials Research Express. 2019. V. 6. № 5. Article No. 056410.