

если они работают со стабильной частотой и интенсивностью, что и подтверждается в работе [1].

Поэтому, для промышленного выпуска и использовании в медицинской практике ультразвукового излучателя [2] (Рис. 1) было проведено моделирование процесса изменения температуры рабочей зоны ультразвукового излучателя для процедур ультразвуковой терапии. Подобные исследования проводились и в статье [3]. На Рис. 2 приведены результаты моделирования и реальные градиенты температур ультразвукового датчика.

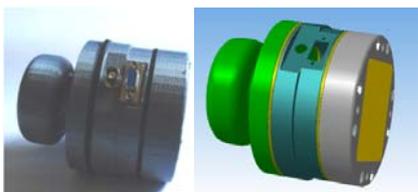


Рисунок 1 – Ультразвуковой излучатель

Применяя моделирование методами конечных элементов, мы можем создать тепловую модель, учитывающую параметры источника излучения тепловой энергии и всех его конструктивных элементов. Для верификации модели и подтверждения ее достоверности использовалось сравнение значений модели и тепловых полей опытного образца ультразвукового излучателя. Регистрация и измерения температур выполнено тепловизором MOBIL-3.

УДК 544.654.2

### МАГНИТНЫЕ И ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА, СТРУКТУРА ПЛЕНОК АНТИМОНИДА ИНДИЯ (InSb), ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ ВЗРЫВНОГО ТЕРМИЧЕСКОГО ИСПАРЕНИЯ

Углов В.В.<sup>1</sup>, Драпезо А.П.<sup>2</sup>, Колесникова Е.А.<sup>1</sup>, Кулешов А.К.<sup>1</sup>, Русальский Д.П.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Белорусский государственный университет, Минск, Республика Беларусь

<sup>2</sup>ООО «Научно-технический центр Вист групп сенсор», Минск, Республика Беларусь

Антимонид индия (InSb) полупроводниковое соединение типа A<sup>III</sup>B<sup>V</sup> с рекордно высокой подвижностью электронов, шириной запрещенной зоны 0,18 эВ при 300 К и 0,24 эВ при 0 К. На основе этого материала изготавливают широкий класс микроэлектронных приборов; высокочувствительные фотоэлементы, датчики Холла, оптические фильтры, инфракрасные детекторы, туннельные диоды. Для микроэлектронных изделий необходимо получение эпитаксиальных пленочных структур антимонида индия с высокой степенью кристаллического совершенства с использованием методов вакуумного осаждения. В данном исследовании применялся метод взрывного термического испарения, который основан на испарении в вакууме порошков подаваемых на испаритель, нагретый до температуры, позволяющей за миллисекунды переводить кристаллические частицы в пар [1].

Из литературных данных известно, что наилучшие результаты по подвижности носителей

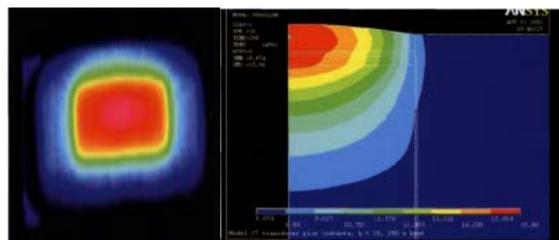


Рисунок 2 – Изображение и модель датчика

Таким образом, можно обеспечить безопасность ультразвуковых терапевтических излучателей, как на этапе разработки, так и в процессах производства и эксплуатации.

### Литература

1. Duck, F.A. Surface heating of diagnostic ultrasound transducers/ F.A. Duck, H.C. Starritt, G.R. ter Haar, tM. J. Lunt // The British Journal of Radiology. – 1989. – № 62. – С. 1005–1013.
2. Ультразвуковые физиотерапевтические аппараты и устройства: монография / Терещенко Н.Ф. Тимчик Г.С., Чухраев Н.В. Кравченко А.Ю. – Киев : КПИ им. Игоря Сикорского, Издательство «Політехніка», 2018. – 184 с.
3. Doody, C. Prediction of the temperature rise at the surface of clinical ultrasound transducers / C. Doody, H. Starritt, F. Duck // BMUS Bulletin. – 2003. – № 3. – С. 26–28.

и величине эффекта Холла достигаются при вакуумном эпитаксиальном росте пленок антимонида индия на полированных монокристаллических пластинах GaAs [2], [3], [4]. Такой тип подложек применялся и в данном исследовании. Известно, что рост текстуры тонких пленок антимонида индия на GaAs довольно сложный процесс, зависящий от температуры GaAs, температуры испарителя порошка, размера частиц порошка, его чистоты, скорости подачи порошка на испаритель [3].

Целью работы являлось исследование величины эффекта Холла, концентрации и подвижности носителей заряда, степени кристаллического совершенства пленок антимонида индия в зависимости от температуры подложки при осаждении их методом взрывного термического испарения. Пленки в дальнейшем предполагается использовать в датчиках Холла, углового поворота, давления и т. д.

Напыление антимонида индия проводилось на полированные подложки из арсенида галлия

через трафареты, что обеспечивало осаждение пленки в виде прямоугольника  $5 \times 10$  мм с контактными дорожками для соединения с золотыми контактными проводами. При этом температура испарителя составляла 1200-1500 °С, а температура нагревателя варьировалась от 370 до 430 °С. Интервалы этих температур были выбраны на основе обзора литературных данных [2], [3], [4], чтобы добиться высоких значений эффекта Холла и подвижности носителей. Толщина полученных пленок была в интервале 1,5-3,5 мкм.

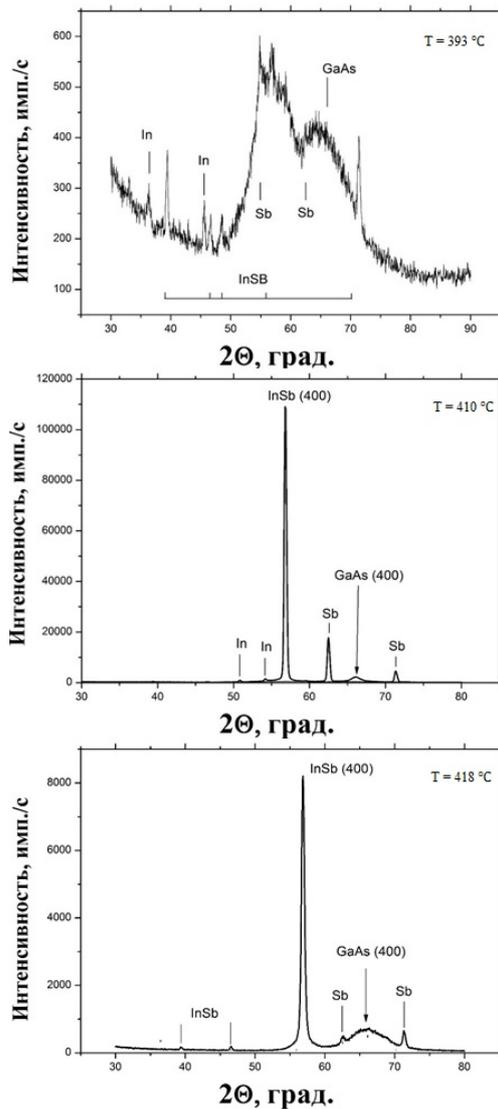


Рисунок 1 – Дифрактограммы плёнок антимонида индия, полученных при температуре подложки 393°С, 410°С и 418°С

Исследование кристаллической структуры осаждаемых пленок проводилось с помощью рентгеноструктурного анализа. Измерения температурной зависимости проводимости и эффекта Холла проводились на специальной установке, в которой через образец проходил постоянный ток, и поддерживалось постоянное магнитное по-

ле [1]. Интервал изменения температуры составлял 20–120 °С. Подвижность и концентрацию носителей определяли по известным формулам [1].

На основании дифрактограмм, представленных на рисунке 1, был определён интервал температур для получения плёнок с текстурированной кристаллической структурой.

Из представленных дифрактограмм следует, что при малых температурах осаждения фазовый состав плёнки представляет собой сумму фаз от поликристаллитов индия и сурьмы, а также соединения антимонида индия. Интенсивность дифракционных пиков сурьмы сравнима с интенсивностью антимонида индия. Для пленки, полученной при температуре подложки 410°С интенсивность дифракционного пика антимонида индия InSb (400) более чем в 10 раз больше по отношению к пику, который выделяется на дифрактограмме плёнки осажденной при большей температуре. При температуре осаждения выше, чем 410°С в плёнке формируются также кристаллиты соединения антимонида индия с направлениями отличными от (400). Таким образом, при температурах выше 400°С формируются плёнки антимонида индия, эпитаксиально выращенные и близкие к монокристаллическому строению антимонида индия.

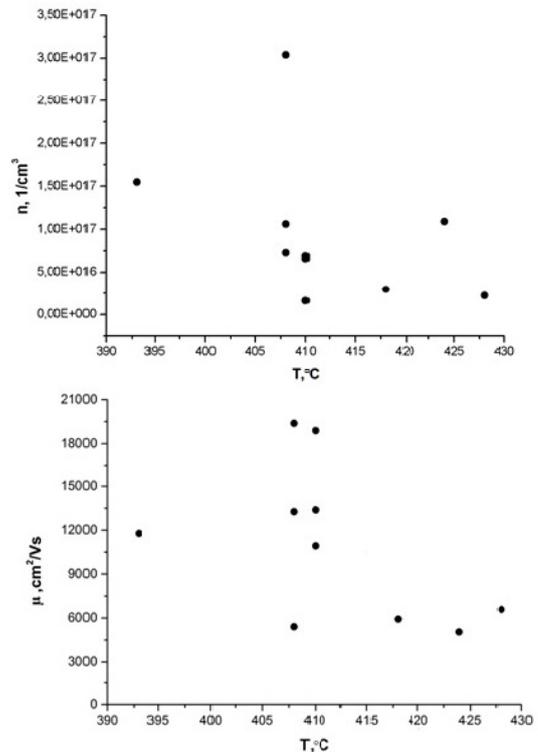


Рисунок 2 – Зависимость концентрации и подвижности носителей от температуры подложки

Исследования температурной стабильности для нескольких образцов, полученных при разной температуре подложки, показали, что темпе-

ратура подложки, составляющая 410 °С, является наиболее оптимальной для получения плёночных структур антимионда индия.

Используя полученные данные измерения холловской разности потенциалов, для каждого образца были рассчитаны значения концентрации и подвижности носителей. На рисунке 2 приведены зависимости концентрации носителей и подвижности от температуры подложки, при которой были получены плёнки антимионда индия. Из рисунка 2 следует, что температура подложки является основным фактором, определяющим магнитные и электрические свойства плёнок.

#### Заключение

Плёнки, осаждения которых происходит в интервале 405-410°С, обладают наибольшими значениями концентрации ( $10^{17}$ - $10^{18}$  см<sup>-3</sup>) и подвижности ( $10$ - $15 \times 10^3$  см<sup>2</sup>/(В×с)) носителей, а падение напряжения Холла с ростом температуры не превышает 60 мВ на 100 °С. Также дан-

ные плёнки антимионда индия, имеют наибольшую текстурированность в направлении (400).

#### Литература

1. Технология тонких пленок. Справочник. Под ред. Л. Майссела, Р. Глэнга. Том 1. М. : Советское радио, 1977
2. Гуляев А.М., Шитников А.С. Влияние избытка компонентов на электрические свойства пленок антимионда индия // Физика и техника полупроводников, 2015. – № 2 (49). – С. 214–218.
3. M. Oszwaldowska, T. Berus, A. Borowska, M. Nowicka, A. Richter, K. Sangwal Textural properties of InSb thin films // Journal of Crystal Growth, 2004. № 265. – P. 83–93.
4. M. Oszwaldowska, T. Berus Hall sensors made of n-InSb/GaAs epitaxial layers for low temperature applications // Thin Solid Films, 2006. – № 515. – P. 2692–2695.

УДК 631.22

## ПОРШНЕВЫЕ НАСОСЫ ДЛЯ ТРАНСПОРТИРОВАНИЯ ВЫСОКОВЯЗКИХ ЖИДКОСТЕЙ

Луговая И.С.

*Белорусский национальный технический университет Минск, Республика Беларусь*

К числу высоковязких жидкостей в области сельскохозяйственного производства относятся органические удобрения, среди которых бесподстилочные органические удобрения представляют особую трудоемкость для транспортирования. Они состоят из экскрементов животных, остатков кормов и воды в виде технологических отходов. Бесподстилочные удобрения влажностью до 90% называют полужидким, до 93% – жидким, более 93% – разжиженным. Традиционные способы и соответствующие механические средства для транспортирования таких удобрений оказались нерентабельными. По этой причине механизацию выгрузки бесподстилочных удобрений и транспортировку по трубопроводам выполняют гидротранспортными установками. Они оборудованы насосами, которые осуществляют транспортировку по трубам на значительные расстояния от животноводческих помещений. Для перекачки удобрений высокой вязкости и пониженной влажности более эффективными оказались объемные насосы (поршневые и винтовые). Они предназначены для транспортирования навоза любой консистенции (влажностью не менее 78%), в состав которых входят: подстилочный материал в виде измельченной соломы (размером волокон до 100 мм), торф и другие материалы. Однако они отличаются более низкой производительностью по сравнению с центробежными насосами.

Для транспортирования удобрений используют мощные гидроцилиндры, у которых увеличено сечение загрузочной воронки. Гидропривод содержит обратный клапан на напорной линии трубопровода. Такая схема позволяет транспортировать высоковязкие жидкости любой консистенции и увеличить дальность транспортировки. В рабочей камере устройства установлен сферический клапан с острой кромкой, который позволяет легко разрезать соломистые материалы, облегчая транспортировку подстилочного удобрения по трубопроводу. Он приводится в движение от второго гидроцилиндра.

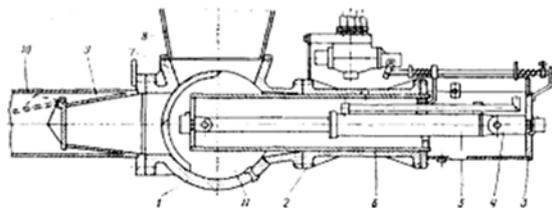


Рисунок 1 – Разрез поршневого насоса

Установка состоит из поршневого насоса (гидрогенератора), гидроприводной станции, двух гидрораспределителей P1 и P2, двух гидроцилиндров: привода поршня поршневого насоса установки Ц1 и привода сферического всасывающе-нагнетательного клапана Ц2. Поршневой насос (рис. 1) представляет собой гидравлическую машину объемного типа, которая