

**А.Л. Вихарев¹, А.М. Горбачев¹, А.Б. Мучников¹
О.Ю. Кудряшов², И.А. Леонтьев², М.П. Духновский³,
А.К. Ратникова³, Ю.Ю. Федоров³**

¹ Институт прикладной физики РАН

² ООО «ТВИНН»

³ ФГУП Научно-производственное предприятие "Исток"

Создание комбинированных подложек монокристаллического и поликристаллического CVD-алмаза и их тиражирование для электронной техники

В статье описывается метод создания поликристаллических подложек алмаза с включениями из монокристаллического алмаза для формирования области канала полевых транзисторов. Приведена технология изготовления таких алмазных структур, на основе которой получена первая комбинированная пластина.

Ключевые слова: монокристаллический алмаз, эпитаксиальные слои алмаза, полевой транзистор

Монокристаллический полупроводниковый алмаз по совокупности параметров является рекордсменом среди полупроводниковых материалов и позволит разработать приборы с более высокими рабочими температурами, электрической мощностью и радиационной стойкостью [1]. Однако одним из основных факторов, препятствующих широкому фронту работ по исследованию и применению данного материала, является небольшие геометрические размеры подложек алмаза. Развитие алмазного полупроводникового материаловедения во многом будет схожа с развитием и становлением карбида кремния в качестве полупроводникового материала и материала, применяемого в качестве подложечного для роста нитридгаллиевых структур. Однако будет и много различий.

В данном докладе, основываясь на наших достижениях и мировых тенденциях движения алмазного направления, излагается видение будущего развития алмазного материаловедения.

В исследовательских работах монокристаллический CVD-алмаз (CVD: chemical vapor deposition – осаждение из газовой фазы) выращивается в основном на подложках с размерами от 3×3 до 5×5 мм из натурального или искусственного алмаза, получаемого в аппаратах высокого давления и высокой температуры. В настоящее время технология создания электронных приборов на кремнии освоена на подложках диаметром от 150 до 500 мм.

Казалось бы, будущее алмазной электроники можно обсуждать только после создания пластин монокристаллического алмаза таких размеров. И в этом направлении интенсивно ведутся исследования. Недавно группе ученых из Японии удалось вырастить монокристаллический CVD-алмаз размером 25 × 25 мм [2]. Размеры этих, хотя и больших пластин, все еще далеки от размеров кремниевых пластин. Тем не менее, следует заметить, что пластины поликристаллического CVD-алмаза диаметром

от 75 до 300 мм и толщиной от 0.2 до 2 мм с успехом выращиваются в некоторых лабораториях [3-5].

Поликристаллический алмаз, получаемый в CVD-реакторе, имеет характеристики гораздо хуже, чем полупроводниковый монокристаллический алмаз. Однако высокое удельное сопротивление CVD-алмаза более 10^8 Ом·см, получаемое автоматически во время роста, и его высокая теплопроводность 800-2000 Вт/м·К делают этот материал чрезвычайно перспективным для формирования на нем гетероструктур нитридов галлия и алюминия. В данном направлении в мире и у нас проводятся интенсивные работы и получены обнадеживающие результаты. Это стало возможным благодаря доступности поликристаллического алмаза и его относительной дешевизны (1-3 тыс.\$ за пластину диаметром 75 мм).

Возникает вопрос, каким образом монокристаллический алмаз с теми размерами, которыми мы располагаем сейчас, может быть использован как материал для создания электронных приборов в широкомасштабном технологическом процессе? Одним из вариантов такого использования, на наш взгляд, могут быть подложки поликристаллического алмаза с включениями из монокристаллического алмаза. Такие комбинированные алмазные пластины будут иметь диаметр поликристаллических пластин от 50 до 300 мм и содержать большое число периодических монокристаллических областей CVD-алмаза небольших размеров, от $0,1 \times 0,1$ мм. На этих совершенных монокристаллических областях будут создаваться высококачественные эпитаксиальные слои алмаза полупроводникового качества с заданным уровнем легирования, и в этих местах будут формироваться области канала полевых транзисторов. Для создания электронных приборов на таких пластинах толщиной 200-300 мкм могут быть использованы технологические линии, уже разработанные для кремниевой, арсенид-галлиевой и нитридгаллиевой технологий.

На сегодняшний день нам неизвестны работы, где изучалось совместное выращивание поли- и монокристаллического CVD-алмаза. Коллективу ИФП РАН удалось осуществить совместный рост поли- и монокристаллического CVD-алмаза [6,7].

На рис 1. представлено фото первой комбинированной пластины алмаза диаметром 25 мм, состоящей из поликристаллического алмаза с включением областей монокристаллического алмаза.

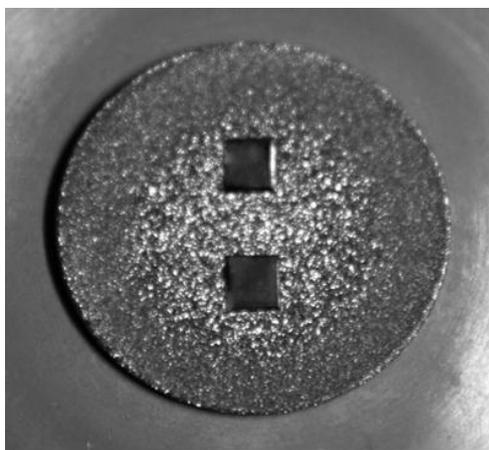


Рис. 1.

Однако каждый раз изготавливать комбинированную подложку – это очень затратный путь. И стоимость таких пластин будет чрезвычайно высока для их практического использования.

Но алмаз со своими уникальными свойствами дал нам шанс. Дело в том, что алмаз это аллотропическая форма углерода, которая при высоких температурах и прочих воздействиях непременно переходит в устойчивую свою форму – графит. Если алмаз абсолютно химически инертен при температурах до 400 °С, то графит можно травить во многих газах и травителях при температурах 100-150 °С. Во ФГУП «НПП «Исток» разработаны методы создания жертвенного слоя графита методом ионной имплантации, а в ООО «ТВИНН» научились выращивать на тонком слое алмаза, находящемся над жертвенным слоем, эпитаксиальный слой алмаза. Во ФГУП НПП «Исток» разработаны методы удаления жертвенного слоя графита и отделения вновь выращенного слоя алмаза от материнской алмазной подложки [6-8].

Эти работы позволили сформировать маршрут изготовления комбинированных регулярных алмазных подложек, представленный на рис.2.

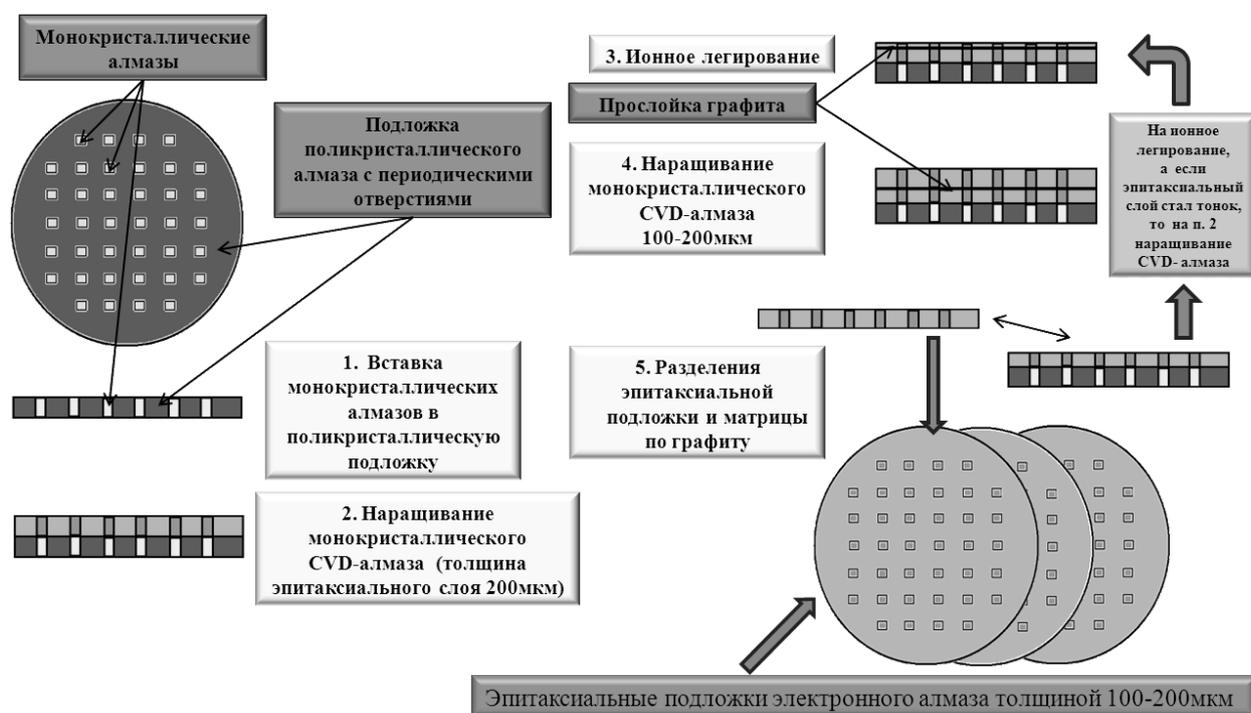


Рис. 2.

Появление на рынке данных структур даст резкий импульс развития алмазной полупроводниковой электронике и позволит использовать отечественный потенциал.

Библиографический список

1. CVD Diamond for Electronic Devices and Sensors, ed. by R.S. Sussmann (John Wiley and Sons, 2009).
2. H. Yamada, A. Chayahara, Y. Mokuno, H. Umezawa, S. Shikata, N. Fujimori. Appl. Phys. Express, 3, 051 (2010). 301 p.
3. <http://www.e6cvd.com>
4. <http://www.diamond-materials.com>
5. <http://www.ipfran.ru/structure/lab122/info.html>

6. А.А. Алтухов, А.Л. Вихарев, А.М. Горбачев, М.П. Духновский, В.Е. Земляков, К.Н. Зяблук, А.В. Митенкин, А.Б. Мучников, Д.Б. Радищев, А.К. Ратникова, Ю.Ю. Федоров. ФТП, 45 (3), (2011). С. 403.

7. A.V. Muchnikov, A.L. Vikharev, A.M. Gorbachev, D.B. Radishev. Diamond and Relat.Mater., 20, (2011). 1225 p.

8. М.П. Духновский, А.К. Ратникова, Ю.Ю. Федоров, О.Ю. Кудряшов, И.А. Леонтьев. Электрон.техн., сер. 1, СВЧ-техника, № 2, (2008). С. 41.