

кристаллов алмаза возможна локализация объемов роста, обладающих достаточно однородными электрофизическими свойствами и пригодными для изготовления и применения пластин.

*Вивчено структуру напівпровідникових монокристалів алмазу, вирощених методом температурного градієнта. Встановлено, що зразки мають складну секторіальну будову. Вивчено можливість вирощування кристалів алмазу, в об'ємі яких одна з пірамід росту має переважний розвиток і є домінуючою. Виміряно питому електропровідність. Показано можливість отримання доволі однорідних напівпровідникових зразків з частин об'єму, що належать окремим пірамідам росту монокристалу алмазу.*

**Ключові слова:** леговані монокристали алмаза; секторіальна будова; електрофізичні характеристики.

*The structure of semiconducting diamond single crystals grown by temperature gradient method were studied. It is established that the samples has complex sectorial structure. The possibility of growing diamond crystals in volume of which one of the growth pyramids has a preferential development and is the dominant one were studied, measurements of their electrical conductivity were performed. It is shown that it is possible to obtain homogeneous semiconductor samples from parts that belonging to individual growth pyramids of a single diamond crystal.*

**Key words:** Doped single crystal diamonds; sectorial structure; electrical characteristics.

#### Литература

1. Васильев А., Данилина В., Жукова Т. Новое поколение полупроводниковых материалов и приборов. Через GaN к алмазу // Электроника: Наука, Технология, Бизнес. – 2007. – № 4. – С. 68–76.
2. Вавилов В.С. Алмаз в твердотельной электронике // Успехи физических наук. – 1997. – № 1. – С. 17–22.
3. Физические свойства алмаза: Справочник / Под ред. Н.В. Новикова. – К.: Наукова думка, 1987. – 189 с.
4. А.С. Вишнеvский, А.И. Прихна, Т.Д. Осетинская, А.Г. Гонтарь, В.М. Устинцев Внутреннее строениеи электропроводность легированных бором кристаллов синтетического алмаза // Синтетические алмазы. – 1974. – № 2. – С.5–7.
5. Wentorf R.H. Some studies of diamond growth rates // J. Phys. Chem. – 1971. – V. 75. – № 12. – P. 1833–1837.

Поступила 24.06.11

УДК 621.921.34-492:539.411:546.27

**О. І. Чернієнко; О. О. Бочечка**, д-р техн. наук; **Т. О. Косенчук;**  
**Г. Д. Ільницька**, канд. техн. наук

*Інститут надтвердих матеріалів ім. В. М. Бакуля НАН України, м. Київ*

#### **ВПЛИВ БОРУ НА МІЦНІСТЬ ТА ТЕРМОСТАБІЛЬНІСТЬ АЛМАЗНИХ ПОРОШКІВ, СИНТЕЗОВАНИХ В СИСТЕМІ Mg–Zn–B–C**

*Для алмазних порошоків, синтезованих в системі Mg–Zn–B–C, досліджено залежність показника міцності від концентрації бору в шихті до і після термообробки та розраховано коефіцієнти термостабільності. Показано, що крива залежності показника міцності має мінімум (при концентрації бору 20 % ат.), а коефіцієнт термостабільності збільшується з підвищенням концентрації бору.*

**Ключові слова:** алмаз, бор, показник міцності, термостабільність.

Міцність є характеристикою алмазу, яка визначає області його ефективного застосування, методи створення з нього матеріалів та впливає на їхні властивості. Важливість міцності алмазу та ал-

мазного порошку проявляється у великій кількості виконаних робіт по дослідженні впливу на властивості створених із них матеріалів, а також розробці методів для визначення показника міцності. Різні кристали алмазу мають різну міцність. Вона залежить від розмірів, форми, структури включень та дефектів кристалічної ґратки, що визначаються середовищем (системою синтезу), термодинамічними параметрами та часом росту кристалів. На міцність алмазу впливає температура. В [1, с. 65] показано, що після нагрівання алмазного порошку, синтезованого в системі Ni–Mn–C до температури 900 °C відбувається різке зменшення показника міцності. Під час експлуатації інструменти з полікристалічних, або композиційних матеріалів на основі алмазних порошоків зазнають дії високої температури. У результаті алмазні зерна піддаються деградації, що пояснюється взаємодією алмазної ґратки з присутніми в ній включеннями [2], різницею значень коефіцієнтів термічного розширення алмазу та включень в алмазній ґратці [3], різницею зміни об'єму включень при знятті тиску й температури та після нагрівання [2].

У разі використання алмазних порошоків із вищою термостабільністю (ТС), для виготовлення інструменту поліпшуються його фізико-механічні властивості, а отже синтез термостабільних алмазних порошоків актуальний.

В даній роботі досліджується залежність показника міцності та термостабільності алмазних порошоків зернистістю 125/100 синтезованих в системі Mg–Zn–B–C від концентрації бору в шихті. Елементи системи синтезу досліджуваних порошоків алмазу, не розчиняють карбон за нормального тиску. Отже в таких порошках відсутній один із чинників деградації алмазних зерен після дії високої температури. Також відомо, що наявність домішки бору в алмазі підвищує його ТС [4], тому синтезовані в цій системі кристали алмазу можуть мати вищу ТС.

Методика дослідження

В даній роботі проведено дослідження показника міцності та ТС алмазних порошоків зернистістю 125/100, синтезованих в системі Mg–Zn–B–C. Відповідно до ТУ У 28.5-05417377-075-2003 їхній коефіцієнт термостабільності  $K_{ТС}$  обчислювали за формулою  $K_{ТС} = P_T/P_B$ , де  $P_B$ ,  $P_T$  – показник міцності алмазного порошку відповідно до та після термообробки при температурі 1100 °C в середовищі аргону та. Тривалість термообробки – 10 хв.

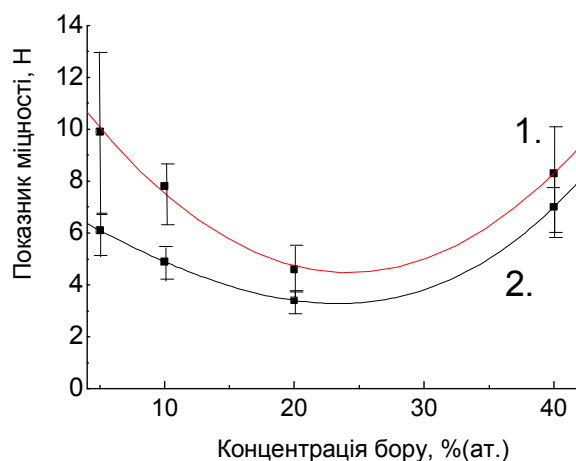
Показник статичної міцності порошоків при стисненні вимірювали приладом ДДА-33А згідно з ДСТУ 3292–95 [5]. Окремі кристали розміщували між лейкосапфіровими опорами діаметром 5 мм та висотою 1,5 мм і піддавали руйнуванню, фіксуючи максимальне руйнівне навантаження. Відповідно до ДСТУ 3292–95 за результат визначення показника міцності алмазного шліфпорошку ( $P$ ) приймають значення, обчислене за формулою.

$$P = \frac{\sum_{i=1}^n P_i - \sum_{j=1}^k P_j}{n - k}$$

де  $P_i$  – навантаження руйнування окремого зерна,  $N$ ,  $n$  – кількість зруйнованих зерен, рівна 50,  $P_j$  – значення навантаження руйнування окремого зерна, що вдвічі або більше перевищує середнє значення  $P_{сер}$ ,  $k$  – кількість зерен зруйнованих при  $P_j \geq 2 \cdot P_{сер}$ .

#### Результатів та їх обговорення

Результати порівняння показника міцності алмазних порошоків, синтезованих в системі Mg–Zn–B–C, до і після термообробки (див. рисунок), засвідчили, що для алмазного порошку до і після термообробки, залежність показника міцності від концентрації бору в шихті має мінімум при концентрації 20 % (ат.) бору. Імовірно, це пояснюється тим, що розплав при такій концентрації бору стає найбільш насиченим по відношенню до алмазу. В результаті цього збільшується швидкість росту алмазних зерен. Відповідно у них збільшується кількість дефектів.



Залежності показника міцності алмазного порошку, синтезованого в системі Mg–Zn–B–C, від концентрації бору в шихті: 1 – порошки перед термообробкою, 2 – після термообробки

Розраховані значення коефіцієнтів TC приведені в таблиці.

**Залежність коефіцієнта TC алмазного порошку зернистістю 125/100, синтезованого в системі Mg–Zn–B–C, від концентрації бору в шихті**

Концентрація бору в шихті, % (ат.)	$K_{TC}$	Категорія термостабільності
5	0,6	СТ
10	0,6	СТ
20	0,7	СТ
40	0,8	BT

З наведених вище даних випливає те, що відбувається зниження показника міцності алмазних порошоків після термообробки по відношенню до тих же порошоків без термообробки у всіх випадках. Тобто при нагріванні проходять певні процеси, що спричинюють знеміцнення алмазного порошку. В нашому випадку це можна пояснити різницею коефіцієнтів термічного розширення і об'ємного стиснення для алмазу та його включень.

До того ж зауважимо, що з підвищенням концентрації бору в шихті до 20 % (ат.) показник міцності алмазних порошоків, які не піддавали термообробці знижується, що пояснюється збільшенням кількості включень в ґратці алмазу. В літературі приводяться дані про вплив дефектів на термостабільність алмазних порошоків і показано, що зі збільшенням кількості включень в ґратці алмазу призводить до погіршення його термостабільності [6]. В нашому випадку вона покращується. Тобто з підвищенням концентрації бору в шихті, показник міцності алмазних порошоків після термообробки  $P_T$  збільшується у відношенні до показника міцності алмазних порошоків перед термообробкою  $P_B$ . Можливо, що зростання концентрації бору в шихті, а відповідно й у включеннях алмазної ґратки призводить до утворення в них фаз [7], або розчинів, що зумовлюють зниження коефіцієнтів термічного розширення і об'ємного стиснення включень.

Також можливо, що наявність бору у включеннях при відпалі зміцнює алмаз шляхом дифузії у приповерхневі шари навколо включень. Це може відбуватись за рахунок того, що при розплавленні включення ґратки алмазу стають пересичені бором. Завдяки малому розміру атому бор має можливість дифундувати в ґратку алмазу і, отже, зміцнити її. При підвищенні концентрації бору в шихті, підвищується його концентрація у включеннях. Відповідно збільшується градієнт концентрації, що посилює потік дифузії (міграції), а отже алмаз зміцнюється краще і в результаті зростає термостабільність.

Категорія TC алмазних порошоків, синтезованих в системі Mg–Zn–B–C при концентрації бору в шихті 5, 10, 20 % (ат.), відноситься до середньої термостабільності (СТ), при 40 % (ат.) до високої (BT).

### Висновки

При синтезі алмазу в системі Mg–Zn–B–C підвищення концентрації бору в шихті від 1 до 20 % (ат.), призводить до зниження показника міцності алмазного порошку за рахунок збільшення кількості включень в ньому. Ймовірно, це пов'язано з підвищенням швидкості росту алмазних зерен.

Отже підвищення концентрації бору в шихті сприяє підвищенню термостабільності алмазного порошку.

*Для алмазных порошков, синтезированных в системе Mg–Zn–B–C, исследовано зависимость показателя прочности от концентрации бора в шихте до и после термообработки и рассчитанные коэффициенты термостабильности. Показано, что кривая зависимости показателя прочности имеет минимум (при концентрации бора 20 % ат.), а коэффициент термостабильности увеличивается в повышении концентрации бора.*

**Ключевые слова:** алмаз, бор, показатель прочности, термостабильность.

*Dependence of an indicator of durability on the boron concentration in the mixture for diamond powders synthesized in the Mg–Zn–B–C studied before and after heat treatment. It was studied that the curve of dependence of an indicator of durability has a minimum (at a concentration of 20% boron (at.)), but the thermal stability increases with the concentration of boron.*

**Key words:** diamond, boron, durability, thermal stability.

### Література

6. Поликристаллические материалы на основе алмаза. А. А. Шульженко, В. Г. Гаргин, В. А. Шишкин, А. А. Бочечка – К.: Наук. думка, 1989. - 192 с.
7. Гаргин В. Г. Термическое разупрочнение алмазов синтезированных в системе Ni–Mn–C // Влияние высокого давления на структуру и свойства материалов. – К.: ИСМ АН УССР, 1983. – С. 93–102.
8. Детчурев Ю. А., Лаптев В. А., Бондаренко М. Г. Воздействие высокой температуры на монокристаллы алмаза марки САМ // Алмазы и сверхтвердые матер. – 1976. – Вып. 6. – С. 1–3.
9. Кирова Н. Ф., Колчманов Н. А., Рывкин Ю. М. Влияние примеси бора на термическую стойкость монокристаллов синтетических алмазов // Синтет алмазы. – 1976. – Вып 2. – С. 17–20.
10. ДСТУ 3292–95. Порошки алмазні синтетичні. Загальні технічні умови. – К.: Держстандарт України, 1995. – 71 С.
11. Воронин Г. А., Мальнев В. И., Несортуев Г. Ф. Влияние включений на прочность синтетических алмазов при высоких температурах // Сверхтвердые матер. – 1984. – № 2. – С. 33–37.
12. Чернієнко О. І., Білявіна Н. М., Бочечка О. О. Фазові перетворення в системі магній–цинк–бор–вуглець при різній концентрації бору в умовах високого тиску і температури // Породо-разрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения. – К.: ИСМ им. В.Н. Бакуля НАН Украины, 2010.– Вып. 13. – С. 246–249.

*Надійшла 01.07.11*