

**Визначення поверхні графеноподібного нітриду бору**

В. А. Петрова, В. В. Гарбуз, Л. С. Суворова, Т. Ф. Лобунець

Інститут проблем матеріалознавства ім. І. М. Францевича НАН України,  
Київ, e-mail: wpetrowa@ukr.net

*Для атестації пористої структури графеноподібного нітриду бору використано очищений порошок  $t\text{-BN}_g$ . Матеріал характеризується як однорідний, мікрomezопористий (монодисперсний) з вузьким розподілом щільноподібних пор в діапазоні 3,53—4,12 нм, при цьому близько 55% припадає на об'єм та 60% — на поверхню мезопор. Площа зовнішньої поверхні мезопор складає 28,3 м<sup>2</sup>/г (t-метод), внутрішньої — 141 м<sup>2</sup>/г (метод ВЛН). Порошки нанорозмірного  $t\text{-BN}_g$  карбамідного синтезу потребують додаткової очистки від домішок поліконденсованих плоских частинок оксинітриду бору. Оксинітрид бору у вигляді рафінованого сублімату — порошку білого кольору, виділений з відмитого та висушеного зразка  $t\text{-BN}_g$  при температурі 540 К і тиску ~1—5 Па. Сублімат ідентифікований в припущенні шестичленного гетероциклічного димеру з молекулярною формулою  $\text{N}(\text{OH})[(\text{BON})_2](\text{OH})\text{N}$ .*

**Ключові слова:** структура поверхні, графеноподібний,  $t\text{-BN}_g$ , домішка, оксинітрид бору, очищення.

**Вступ**

У 2013 році міліметрові кристали кубічного  $s\text{-BN}_s$  вперше знайдено в алмазонасній шахті (КНР) Південного Тибету. Природний мінерал атестований як *qingsongite* [1].

На практиці графеноподібний нітрид бору  $t\text{-BN}_g$  [2—4] є сировиною для виробництва всіх нанорозмірних порошоків шаруватих і щільних модифікацій. Графітоподібний  $h\text{-BN}_g$  утворюється при температурах до 1773 К [5—7]. Вюртціто-  $h\text{-BN}_w$  і сфалеритоподібний  $s\text{-BN}_s$  отримують методом ударно-хвильового стиснення (УХС) порошоків  $h\text{-BN}_g$  і  $t\text{-BN}_g$  відповідно [7—9]. Синтез в умовах статичного і градієнтного нагрівання шаруватих модифікацій при 2003—3503 К і тиску 5—18 ГПа приводить до укрупнення зерен порошоків  $h\text{-BN}_w$  і  $s\text{-BN}_s$  [10—12]. Будучи просторовим ізомером графена, різновиди похідних  $t\text{-BN}_g$  [13] багато в чому схожі на вуглецеві. Крім перерахованих фаз,  $\text{BN}$  утворює форми нановолокон [14], нанотрубки [15, 16], наноплівки щільних модифікацій [17], з вуглецем — гетероалмази [18].

Безкисневі зразки  $t\text{-BN}_g$ , а також у вигляді графеноподібних шарів на металах у складі нанорозмірних напівпровідникових пристроїв отримують при термічному розкладанні токсичних елементоорганічних боразогідридів або боразохлоридів з металевим кальцієм [19—26]. Зразки з боразогідридів використано як стандарт рентгенографічних характеристик  $t\text{-BN}_g$ :  $d_{002} = 3,43 \cdot 10^{-10}$  м і  $d_{10} = (2,503 \pm 0,02) \cdot 10^{-10}$  м [7, 19, 20].

Як правило, нітрид бору  $t\text{-BN}_g$  масово виробляють з боратної кислоти  $\text{H}_3\text{BO}_3$  або з  $\text{B}_2\text{O}_3$  при взаємодії з карбамідом  $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$  в атмосфері  $\text{NH}_3$  або  $\text{N}_2$  при температурах 1173 К і вище 1273 К [27]. Однак великий обсяг експериментальної інформації все ще потребує належного пояснення.

© В. А. Петрова, Л. С. Суворова, В. В. Гарбуз, Т. Ф. Лобунець, 2015

Проблема полягає в тому, що порошки  $t\text{-BN}_g$  карбамідного синтезу відрізняються між собою складом, співвідношенням основних компонентів, аномальним надлишком кисню ( $B / N \neq 1$ ;  $O \gg 1$ —10% (мас.)), розмірами елементарних частинок ( $OKP\ hk_{10} = 1$ —50 нм), значеннями структурнозалежних параметрів ( $d_{002} = 0,342$ —0,358 нм) [28]. Питання очищення і вивчення домішок в  $t\text{-BN}_g$  все ще залишаються актуальними. З цих причин дослідження структури поверхні  $t\text{-BN}_g$  також не проводилося.

У даній роботі проведено атестацію пористої структури партії порошку  $t\text{-BN}_g$ , отриманого методом карбамідного синтезу в ПІМ НАН України, як сировини для подальшої переробки методом УХС. Проведено вхідний контроль, очищення порошку, встановлено склад домішки.

### Експеримент

При вхідному контролі порошоків використано комплекс хімічних і фізико-хімічних методів арбітражного компонентного аналізу [27]. Зразок  $t\text{-BN}_g$  вихідний отриманий методом карбамідного синтезу [27]. Частина зразка оброблена киплячою водою протягом 1 год в колбі зі зворотним холодильником. Вихід сухого залишку після фільтрації, промивання та висушування при температурі 400 К протягом 6 год до постійної маси склав 50,1% (мас.). Вміст загального вуглецю в твердій фазі зменшився з 0,5 до 0,3% (мас.), водню — збільшився з 0,2 до 0,9% (мас.).

Пористу структуру зразків досліджено адсорбційно-структурним статичним об'ємним методом на приладі ASAP 2000M (Accelerated Surface Area and Porosimetry System), призначеному для визначення ізотерм адсорбції газів (азот, аргон, криптон і інші неагресивні гази). Діапазон вимірювання даного методу знаходиться в інтервалі розмірів пор 0,3—300 нм. У основі методу лежить здатність твердих тіл поглинати гази і пари. Кількісно цю здатність виражають у вигляді залежності об'єму газу, поглиненого зразком, від парціального або відносного тиску цього газу при постійній температурі, тобто у вигляді ізотерм адсорбції—десорбції. Ізотерми та петлі гістерезису інтерпретують по типам [29, 30] та розраховують: сумарний об'єм пор  $V_\Sigma$  ( $\text{см}^3/\text{г}$ ), питому поверхню  $S_{\text{ВЕТ}}$  ( $\text{м}^2/\text{г}$ ) — за методом Brunauer S., Emmett P. H., Teller E. — ВЕТ [31—33]; сумарний об'єм  $V_{\Sigma\text{mezo}}$  ( $\text{см}^3/\text{г}$ ) і поверхню  $S_{\Sigma\text{mezo}}$  ( $\text{см}^2/\text{г}$ ) мезопор, диференційні розподіли об'єму і поверхні пор — за теорією Barrett E. P., Joyner L. S., Halenda P. P. — ВІН [34, 35]; середній еквівалентний діаметр пор  $D_{\text{ср}}$  — згідно з даними теорій ВЕТ і ВІН; об'єм і поверхню, а також розподіл мікропор за розмірами — за теорією об'ємного заповнення Дубініна (ТОЗМ) [36] і теорією Horwath—Kawazoe (НК) [37, 38].

Згідно з рекомендаціями Міжнародного союзу по чистій і прикладній хімії (IUPAC) [30] прийнята наступна класифікація пор за розмірами, запропонована М. М. Дубініним: супермікропори —  $x < 0,6$ —0,7 нм, мікропори —  $0,6$ —0,7  $< x < 1,5$ —1,6 нм, мезопори —  $1,5$ —1,6  $< x < 100$ —200 нм, макропори  $x > 100$ —200 нм. Причому характеристикою пор є характеристичні або ефективні розміри пор в напрямі, нормальному до переміщення молекул при заповненні пор. Характеристичний розмір циліндричної пори виражається її радіусом, а щілинної — напівшириною щілини.

Класифікація пор заснована на тому, що кожен інтервал розмірів пор відповідає певним адсорбційним властивостям. Так, адсорбція в мікропорах відбувається за механізмом об'ємного заповнення завдяки

високим потенціалом взаємодій з адсорбованими молекулами через близькість стінок пор. У мезопорах здійснюється капілярна конденсація, на ізотермах спостерігається характерна петля гістерезису. Макропори настільки широкі, що для них неможливо вивчити ізотерму адсорбції через її близькість до прямої  $P/P_0 = 1$ , де  $P$  — тиск адсорбтива;  $P_0$  — тиск насиченої пари адсорбтива. Межа між різними класами пор не є точно визначеною, оскільки вона залежить і від їх форми. У даних дослідженнях газом, що адсорбується, є азот.

### Результати та їх обговорення

Зразки отримано карбамідним синтезом, за даними рентгенографії, вони є однофазними і являють собою нано- $t\text{-BN}_g$  з міжплощинними відстанями  $d_{002}$ , рівними 0,358 і 0,342 нм відповідно. Середній діаметр частинок, розрахований в області когерентного розсіювання (ОКР) площинного відбиття  $hk_{10}$ , за даними електроннографії склав 30—3 нм для вивчених проб відповідно [28]. Компонентні, рентгенографічні та розмірні характеристики вихідного зразку (I) та відмитого кип'ячу водою (II) представлені в табл. 1. Зазначені результати рентгенофазових випробувань, кількісного компонентного аналізу свідчать про характер домішки як фази  $t\text{-BN}_g$ , наявність якої впливає на величину  $d_{002}$  (табл. 1).

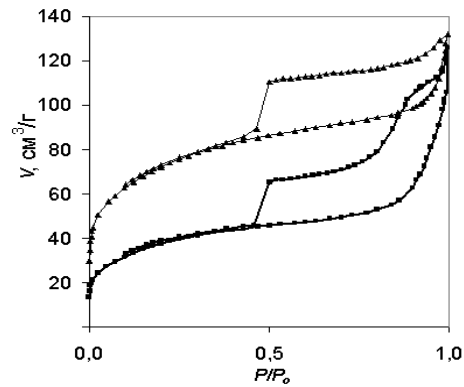
Для визначення ізотерм адсорбції азоту при 72 К зразки I і II дегазовані при температурах 400 та 540 К і тиску  $\leq 1$  Па. Характеристики поверхневої структури після очищення пор при 540 К представлені на рис. 1, 2. Ізотерми адсорбції азоту на досліджених зразках відносяться до IV типу класифікації ізотерм. Це характеризує їх як мезопористі тіла (рис. 1). Петлі гістерезису ізотерм — до H3 типу. Відповідно до класифікації петель гістерезису ізотерм зразки мають щілиноподібні пори і складаються з плоскопаралельних частинок. На десорбційній гілці отриманих ізотерм спостерігається уступ, характерний для щілин нежорсткої структури [29, 30].

Петлі гістерезису ізотерм, отриманих на зразку I, не є чітко вираженими. У матеріалі зразка, крім щілиноподібних пор, присутні такі, що близькі до циліндричних (рис. 1). З кривих диференціальних розподілів об'ємів і поверхонь пор за розмірами впливає, що вихідний зразок має вузький розподіл у двох діапазонах мезопор. В діапазоні 3,82—4,17 нм близько 36% припадає на об'єм та 60% на поверхню мезопор, в діапазоні 10—25 нм — 34% на об'єм мезопор. Такі розподіли характерні для матеріалів з агрегатами близьких розмірів. Вони мають внут-

**Т а б л и ц я 1.** Вміст, рентгенографічні та розмірні характеристики порошоків  $t\text{-BN}_g$

Зразок $t\text{-BN}_g$	Вміст елементів $w$ , $\pm 0,1\%$ (мас.)			Міжплощинна відстань $d_{002}$ , нм	Середній діаметр частинок $d_{a. \text{сep.}}$ , нм	
	$w_B$	$w_N$	$w_O$		ОКР $hk_{10}$	Модель графена
I	41,2	50,1	7,1	0,358	4—5	3,7
II	35,2	45,6	18,7	0,342	1—3	1,1

Рис. 1. Ізотерми адсорбції азоту вихідного (■) та відмитого (▲) за температури 540 К зразків t-BN<sub>g</sub>.



рішньо- (3,82—4,17 нм) і міжагрегатну (10—25 нм) пористість. Характеристики пористої структури, розраховані за t-методом, ВЕТ та ВЈН, представлені в табл. 2.

Підвищення температури дегазації вихідного зразка I (400—540 К) привело до збільшення загальних характеристик пористості і практично не вплинуло на диференціальний розподіл мезопор. Це викликано низькими температурами дегазації. Спорожнення мікропор і пор з розмірами 3—4 нм відбувається частково через високий потенціал поверхні. Крім збільшення об'єму і поверхні мезопор, зростає об'єм мікропор (3 нм). Вихідний порошок t-BN<sub>g</sub> I відноситься до мікрomezопористих тіл з зовнішньою і внутрішньою поверхнями мезопор, що складають 37,1 та 112 м<sup>2</sup>/г відповідно. Питома поверхня, розрахована за методом ВЕТ, має завищені значення. Дана теорія призначена для розрахунків поверхні однорідних непористих об'єктів, ізотерми яких відносяться до II (S-образного) типу класифікації.

Очищення зразка I приводить до деякої зміни його пористої структури. Ізотерми сорбції на обробленому зразку t-BN<sub>g</sub> II також характеризують його як мікрomezопористий матеріал (рис. 1). Петля гістерезису стає чітко вираженою для щільної моделі пор. Диференціальні розподіли об'ємів і поверхонь мезопор за розмірами вказують на те, що зразок одноріднопористий (монодисперсний) з вузьким розподілом пор в діапазоні 3,53—4,12 нм, на який припадає близько 55% об'єму та 60% поверхні мезопор.

Підвищення температури дегазації зразка II до 540 К призводить до появи білого нальоту на скляній тубі. Диференціальний розподіл об'ємів і поверхонь мезопор за розмірами практично не змінюється. Загальні характеристики пористості зростають. Середній розмір мезопор залишається такий самий. Збільшується їх кількість. Зростання питомої поверхні S<sub>ВЕТ</sub> зумовлене проявом значного об'єму мікропор (до 3 нм).

На діапазон понад 24 нм припадає 12—15% об'єму мезопор (рис. 2, б). Значення зовнішньої поверхні, розраховане на основі t-методу, мало змінюється. Підвищення температури дегазації сприяє очищенню пор малих розмірів. Середній діаметр на зразку I (540 К) — 3,98 нм, а на

**Т а б л и ц я 2.** Характеристики пористої структури порошків t-BN<sub>g</sub>, розраховані за t-методом (\*) та ВЈН (\*\*)

Зразок t-BN <sub>g</sub>	T ВТО, К	V <sub>Σ</sub> , см <sup>3</sup> /г	S <sub>ВЕТ</sub> , м <sup>2</sup> /г	V <sub>мікропор</sub> *, см <sup>3</sup> /г	S <sub>мікропор</sub> *, м <sup>2</sup> /г	S <sub>зовн.</sub> *, м <sup>2</sup> /г	V <sub>мезопор</sub> **, см <sup>3</sup> /г	S <sub>мезопор</sub> **, м <sup>2</sup> /г	D <sub>сер</sub> **, нм
I	400	0,1329	79,2	0,0196	45,34	33,81	0,1313	76,35	6,9
I	540	0,1943	137,2	0,0446	100,03	37,13	0,19	112,66	6,8
II	400	0,1196	93,9	0,0408	67,12	26,92	0,1188	105,04	4,5
II	540	0,2039	257,5	0,1168	229,19	28,26	0,1535	141,6	4,3

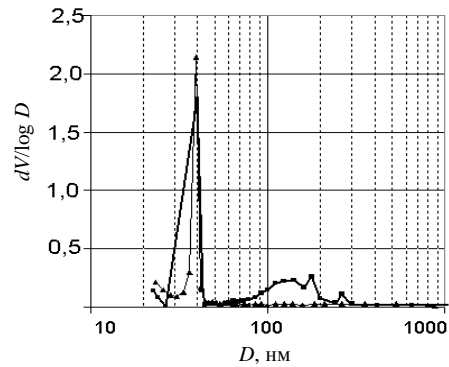
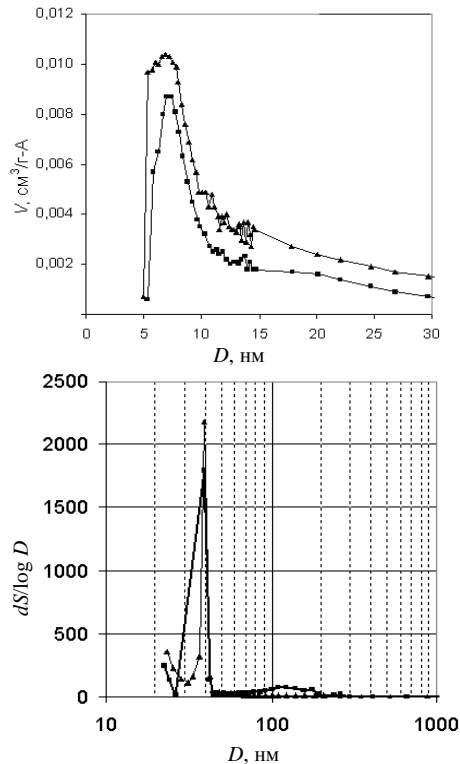


Рис. 2. Диференціальні розподіли об'ємів мікро- (а) та мезопор (б), а також поверхонь пор (в) за розмірами в зразках t-BN<sub>g</sub> I (■) та II (▲) за температури 540 К.

зразку II — 3,95 нм. Збільшення температури дегазації практично не змінює пористу структуру зразків. Воно сприяє більш повному очищенню пор малих розмірів.

### Висновки

Показано, що порошки графеноподібного нітриду бору t-BN<sub>g</sub> можуть бути очищені за допомогою кип'ятіння у воді та наступної вакуумно-термічної обробки. Очищення впливає на внутрішню пористу структуру порошків.

Виділено оксинітрид бору у вигляді сублимованого конденсату оксибороксазолу — порошку білого кольору з відмитого і висушеного порошку t-BN<sub>g</sub> при 540 К і тиску ≤1 Па.

Вивчено пористу структуру порошку t-BN<sub>g</sub>. Матеріал характеризується як однорідний, мікрomezопористий (монодисперсний) з вузьким розподілом щілиноподібних пор в діапазоні 3,53—4,12 нм, на який припадає близько 55% об'єму та 60% поверхні мезопор. При цьому площа зовнішньої поверхні мезопор складає 28,3 м<sup>2</sup>/г (t-метод), внутрішньої — 141 м<sup>2</sup>/г (метод ВЖ).

1. Larissa F. Qingsongit, natural cubic boron nitride: The first boron mineral from the Earth's mantle / [F. Larissa, Dombzhinetskaya et al.] // Amer. Mineralogist. — 2014. — **99**. — P. 764—772.
2. Novoselov K. S. Two-dimensional atomic crystals / [K. S. Novoselov, D. Jiang, F. Shedin et al.] // PNAS. — 2005. — **102**. — P. 10451—10453.
3. Stankovich S. Graphene-based composite materials // Nature. — 2006. — **442**. — P. 282.
4. Gaim A. K. The rise of graphene / A. K. Gaim, K. S. Novoselov // Nature. Mater. — 2007. — **6**. — P. 183—190.
5. Hubaček M. Synthesis of boron nitride from oxide precursors. Archived from the original (<http://hubacek.jp/bn/bn.htm>) on December 12, 2007.

6. Engler M. Hexagonal boron nitride (h-BN). Application from metallurgy to cosmetics // *Cfi / Ber. DKG.* — 2007. — **84.** — D25.
7. Курдюмов А. В. Мартенситные и диффузионные превращения в углероде и нитриде бора при ударном сжатии / [А. В. Курдюмов, В. Ф. Бритун, Н. И. Боримчук, В. В. Ярош]. — К. : Куприянова О. О., 2005. — С. 192.
8. Soma T. Characterization of wurtzite type boron nitride synthesized by shock compression / T. Soma, A. Sawaoka, S. Saito // *Mater. Res. Bull.* — 1974. — **9.** — P. 755.
9. Rudolph S. Boron Nitride: Mineral review 2000 // *Amer. Ceram. Soc. Bull.* — 2000. — **79.** — P. 50.
10. Wentorf N. H. Cubic form of boron nitride // *J. Chem. Phys.* — 1957. — **26.** — P. 956.
11. Vel L. Cubic boron nitride: synthesis, physicochemical properties and application / L. Vel, G. Demazeau, J. Etourneau // *Mater. Sci. and Engineering.* — 1991. — **B10.** — P. 149.
12. Fukunaga O. Science and technology in the recent development of boron nitride materials // *J. Phys. Condens. Matter.* — 2002. — **14.** — P. 10979.
13. Robert T. Paine. Narula synthetic routes to boron nitride / T. Robert Paine, K. Chaitanya // *Chem. Rev.* — 1990. — **90.** — P. 73—91.
14. Bartnitskaya T. S. Preparation of boron nitride fibers with use of the hydrated cellulose. I. Decomposition of hydrated cellulose impregnated with boron-containing compounds / [T. S. Bartnitskaya, N. F. Ostrovskaya, T. M. Ul'yanova, B. V. Fenochka] // *Powder Metallurgy and Metal Ceramics.* — 1999. — **38.** — P. 152.
15. Rubio Angel. Theory of graphitic boron nitride nanotubes / Rubio Angel, Corkill Jennifer, Cohen Marvin // *Phys. Rev.* — 1994. — **V49.** — P. 5081.
16. Goldberg D. Boron nitride nanotubes / [D. Goldberg, Y. Bando, C. C. Tang, C. Y. Zhi] // *Adv. Mater.* — 2007. — **19.** — P. 2413.
17. Mirkarimi P. B. Review of advances in cubic boron nitride film synthesis / P. B. Mirkarimi, K. McCarty, D. Medlin // *Mater. Sci. and Engineering R. Reports.* — 1997. — **21.** — P. 47—100.
18. Komatsu T. Creation of superhard B—C—N heterodiamond using an advanced shock wave compression technology // *J. of Mater. Proc. Technology.* — 1999. — **85.** — P. 69.
19. Косолапова Т. Я. Неметаллические тугоплавкие соединения / [Т. Я. Косолапова, Т. В. Андреева, Т. С. Бартницкая и др.]. — М. : Металлургия, 1985. — С. 87—93.
20. Методы получения, свойства и применение нитридов / [Ред. Г. В. Самсонов, Т. В. Дубовик., Г. А. Ясинская и др.]. — Киев : Институт проблем материаловедения АН УССР, 1972. — 381 с.
21. Corso M. Boron nitride nanomesh / [M. Corso, W. Auwarter, M. Muntwiller et al.] // *Science.* — 2004. — **303,** No. 5655. — P. 217—220.
22. Goriachko A. Self-assembly of hexagonal boron nitride nanomesh on Ru(0001) / [A. Goriachko, Y. He, Knapp Marcus et al.] // *Langmuir Lett.* — 2007. — **23,** No. 6. — P. 2928—2931.
23. Bank O. Surface X-ray diffraction study of boron-nitride nanomesh in air / [O. Bank, M. Corso, D. Matrocchia et al.] // *Surf. Sci.* — 2007. — **601.** — L7—L10.
24. Lastkovsky R. Boron nitride nanomesh functionality from a corrugated monolayer / [R. Lastkovsky, P. Blaha, K. Schwarz et al.] // *Angew. Chem. Ed.* — 2007. — **46,** No. 27. — P. 5115—5119.
25. Widmer R. Electrostatic in situ STM investigation of h-BN-Nanomesh / [R. Widmer, S. Berner, O. Groning et al.] // *Electrochem. Comm.* — 2007. — **9.** — P. 2484—2488.
26. "The discovery of the nanomesh for everyone." (<http://www.nanomesh.ch/history.php>). Retrieved 2009-06-06.
27. Курдюмов А. В. Закономерности структурообразования при карбамидном синтезе нанокристаллического графитоподобного нитрида бора / [А. В. Курдюмов, Т. С. Бартницкая, В. И. Ляшенко и др.] // *Порошковая металлургия.* — 2005. — № 11/12. — С. 88—97.
28. Курдюмов А. В. О примесях в нанокристаллических порошках графитоподобного нитрида бора и их роли в процессе фазовых превращений при ударном сжатии / [А. В. Курдюмов, В. Ф. Бритун, В. В. Гарбуз и др.] // *Наноструктурное материаловедение.* — 2009. — № 2. — С. 25—32.

29. Грег С. Адсорбция, удельная поверхность, пористость / С. Грег, К. Синг. — М. : Мир, 1984. — 310 с.
30. IUPAC Manual of symbols and Terminology, Appendix 2, Pt. I, Colloid and Surface Chemistry / Ed. D. N. Everett. — 1972. — P. 23—26.
31. Брунауэр С. Адсорбция газов и паров. Т. 1. — М. : ИЛ, 1948. — 783 с.
32. Полторак О. М. Термодинамика в физической химии. — М. : Высш. школа, 1991. — 319 с.
33. Карнаузов А. П. Адсорбция. Текстура дисперсных и пористых материалов. — Новосибирск : Наука, 1999. — 470 с.
34. Barrett E. P. The determination of pore volume and area distributions in porous substances. I. Computations from nitrogen isotherms / [E. P. Barrett, L. G. Joyner, P. P. Halenda et al.] // J. Amer. Chem. Soc. — 1951. — **73**. — P. 373—380.
35. Aligizaki Kalliopi K. Pore structure of cement-based materials: Testing interpretation and requirements (Modern concrete technology). — Taylor & Francis, 2005. — 432 p.
36. Дубинин М. М. Поверхность и пористость адсорбентов // Успехи химии. — 1982 — **51**, №. 7. — С. 1065—1074.
37. Douglas H. Everett. Adsorption in slit-like and cylindrical micropores in the henry's law region. A model for the microporosity of carbons / Douglas H. Everett and John C. Powl // J. Chem. Soc., Faraday Trans. — 1976. — **72**, No. 1. — P. 619—636: DOI: 10.1039/F19767200619/
38. Horváth. Method for calculation of effective pore size distribution in molecular sieve carbon / Horváth and Kawazoe // J. of Chem. Engineering of Japan. — 1983. — **16**, No. 6. — P. 470—475.

### Определение поверхности графеноподобного нитрида бора

В. А. Петрова, В. В. Гарбуз, Л. С. Суворова, Т. Ф. Лобунец

*Для аттестации пористой структуры графеноподобного нитрида бора использован очищенный порошок  $t\text{-BN}_g$ . Материал характеризуется как однородный, микромезопористый (монодисперсный) с узким распределением щелевидных пор в диапазоне 3,53—4,12 нм, при этом около 55% приходится на объем и 60% — на поверхность мезопор. Площадь внешней поверхности мезопор составляет 28,3 м<sup>2</sup>/г ( $t$ -method), внутренней — 141 м<sup>2</sup>/г (метод ВЈН). Порошки наноразмерного  $t\text{-BN}_g$  карбамидного синтеза нуждаются в дополнительной очистке от примеси поликонденсированных плоских частиц оксинитрида бора. Оксинитрид бора в виде рафинированного сублимата — порошка белого цвета, выделен из отмытого и высушенного порошка  $t\text{-BN}_g$  при температуре 540 К и  $P \sim 1,0\text{—}5,0$  Па. Сублимат идентифицирован в предположении шестичленного гетероциклического димера с молекулярной формулой  $\text{H}(\text{OH})[(\text{BON})_2](\text{OH})\text{H}$ .*

**Ключевые слова:** структура поверхности, графеноподобный,  $t\text{-BN}_g$ , примесь, оксинитрид бора, очистка.

### Determination of surface grafene-boron nitride

V. A. Petrova, L. S. Suvorova, V. V. Garbuz, T. F. Lobunets

*Purified powder of  $t\text{-BN}_g$  for attestation its porous structure have used. The material have described as homogenous, micro-mesoporous (monodisperse) with a narrow distribution slit-like pores still in the range of 3,53—4,12 nm, which accounts for about 55% of the volume and 60% of the surface mesoporous. The area of the outer surface of mesoporous is 28,3 м<sup>2</sup>/g ( $t$ -method), internal — 141 м<sup>2</sup>/g (method ВЈН). Powder Nanodimension  $t\text{-BN}_g$  urea synthesis require to additional cleaning of impurities polycondensed planar boron nitride particles of oxygen boron nitride. Oxygen boron nitride in the form of refined sublimate as white powder was isolated from the washed and dried example  $t\text{-BN}_g$  at Temperature 540 K and Pressure  $\sim 1,0\text{—}5,0$  Pa. Sublimate have identified in assuming as a six-membered heterocycles dimer with molecular formula  $\text{H}(\text{OH})[(\text{BON})_2](\text{OH})\text{H}$ .*

**Keywords:** surface structure, graphene-like,  $t\text{-BN}_g$ , cleaning, impurity, oxygen boron nitride.