

12. Shut V.N., Compositionally graded BST ceramics prepared by tape casting / V.N. Shut, S.R. Syrtsov, V.L. Trublovsky, A.D. Polevko, S.V. Kostomarov, L.P. Mastyko // *Ferroelectrics*. – 2009. – V. 386, N 1. – P. 125–132.
13. Valdez-Nava, Z. Colossal dielectric permittivity of BaTiO₃-based nanocrystalline ceramics sintered by spark plasma sintering / Z. Valdez-Nava, S. Guillemet-Fritsch, C. Tenaillon, T. Lebey, B. Durand, J.-Y. Chane-Ching // *J. Electroceram.* – 2009. – V. 22, N 1–3. – P. 238–244.

УГЛЕРОДНЫЕ НАНОМАТЕРИАЛЫ В ПРОИЗВОДСТВЕ АЛМАЗНЫХ РЕЖУЩИХ ДИСКОВ

Гайдук И.Л.¹, Васильев В.Л.¹, Цыбульская Л.С.², Пуровская О.Г.², Гаевская Т.В.²

¹ ГНПО «Планар» УП «КБТЭМ-СО», г. Минск, Беларусь

² НИИ физико-химических проблем Белгосуниверситета, г. Минск, Беларусь

Прогресс современной техники все более зависит от успехов в создании новых материалов. Такими материалами, в первую очередь, являются композиционные электрохимические покрытия (КЭП) с углеродными наноматериалами: ультрадисперсным алмазом (УДА), углеродным нановолокном (УНВ), углеродными нанотрубками, фуллеренами и др. Электрохимический способ их осаждения является перспективным вследствие простоты состава и стабильности электролитов во времени, высокой скорости осаждения и относительно невысокой стоимости КЭП. Лидирующее место среди большого числа армирующих наполнителей в КЭП занимают высокопрочные и высокожесткие углеродные наноматериалы. Состав КЭП зависит от многих факторов, основными из которых являются состав электролита, размер и природа дисперсной фазы и нанопазы, режимы осаждения и др. Сведения об осаждении КЭП с углеродными наноматериалами ограничены, и пока существенная роль отводится эмпирическому подходу в изучении процессов их получения и физико-механических свойств [1, 2].

Цель работы состояла в разработке технологического процесса электрохимического осаждения композиционного покрытия на основе никеля, синтетического алмазного микропорошка (дисперсность 0,5–40 мкм) и углеродного наноматериала (УНВ или УДА), в изучении физико-механических (микротвердость, износостойкость, коэффициент трения) и эксплуатационных свойств (качество реза, производительность режущих дисков и др.) получаемых КЭП.

Углеродное нановолокно получено методом каталитического пиролиза смеси пропанбута на катализаторе NiO/MgO при температуре 600–650 °С. Углеродное нановолокно представляет собой коаксиально-конические УНВ, которые образуют плотно переплетенные микрообразования. Диаметр нановолокон составляет 30–40 нм, длина – единицы микрометров, насыщенная плотность – 560 кг/м³, количество структурированного углерода в материале ≥95%, удельная поверхность 120–150 м²/г. Была разработана методика очистки нановолокон от примесного никеля, аморфного углерода и приготовлена 1,0 % водная суспензия УНВ. Для повышения ее устойчивости использован алкилтриметиламмоний хлорид (АТМ) в концентрации 0,01–0,05 г/л.

Ультрадисперсный алмаз получен методом детонационного превращения взрывчатых веществ. УДА представляет собой ультрамалые частицы алмаза близкие по форме к сферическим (диаметр 3–5 нм), с развитой удельной поверхностью (200–450 г/м²). Была приготовлена 0,6 % водная суспензия УДА, для повышения ее устойчивости был использован додецилсульфат натрия в концентрации 0,02–0,1 г/л.

Композиционные покрытия Ni–алмаз-УДА и Ni–алмаз-УНВ осаждали из электролита никелирования состава (г/л): NiSO₄·7H₂O – 300; NiCl₂·6H₂O – 30; H₃BO₃ – 30; сахарин – 1; синтетический алмазный микропорошок (дисперсность 0,5–40 мкм) – 10–40; УДА –

0,1±0,0 или УНВ – 0,01±0,1. Для поддержания алмаза и углеродного наноматериала (УДА, УНВ) во взвешенном состоянии во время электрохимического осаждения покрытий через электролит пропускали сжатый воздух, детали непрерывно вращали со скоростью 10-20 об/мин.

В качестве подложки (корпус режущего инструмента) использовали алюминий и его сплавы (Д16 и АМГ), которые проходили химическое обезжиривание, щелочное травление, двукратную цинкатную обработку и осветление в растворе азотной кислоты.

Скорость осаждения КЭП оценивали гравиметрическим методом, микротвердость определяли с помощью прибора ПМТ-3 при нагрузке 100 г и выдержке алмазной пирамидки на поверхности покрытия в течение 10 с, износостойкость и коэффициент трения – с помощью автоматизированного трибометра АТВП. Поверхностную концентрацию алмаза определяли с использованием сканирующего электронного микроскопа с приставкой для подсчета количества включенной дисперсной фазы, объемную долю алмаза – методом волокометрии – по количеству выделившегося углекислого газа после сжигания КЭП в токе кислорода с плавнем V_2O_5 .

В результате проведенного исследования установлено, что на поверхностную и объемную концентрацию дисперсной фазы КЭП влияет концентрация синтетического алмазного микропорошка в электролите никелирования, а также концентрация углеродного наноматериала. Установлено, что с ростом концентрации алмазного микропорошка от 10 до 40 г/л наблюдается увеличение его количества в покрытии от 50-60 до 60-75 %, причем предельные значения получены при концентрации алмаза 15-20 г/л (табл. 1). Углеродные наноматериалы необходимо вводить в небольших количествах, так как из-за очень малых размеров они могут встраиваться в кристаллическую решетку никеля при его электрокристаллизации, препятствуя тем самым включению алмаза в никелевое покрытие. Оптимальной концентрацией УДА в электролите никелирования является 0,1±0,3 г/л, УНВ – 0,031±0,05 г/л. Введение углеродных наноматериалов приводит к более равномерному распределению алмаза по поверхности покрытия, а также способствует уменьшению конгломерации частиц алмаза (рис.1).

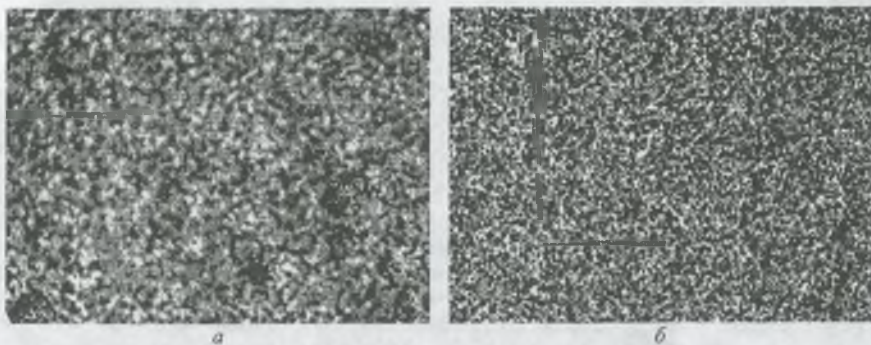


Рис. 1. Микрофотографии поверхности КЭП никель-алмаз (а), никель-алмаз-УНВ (б)

Определены оптимальные технологические режимы электрохимического осаждения КЭП. Ими являются: плотность катодного тока $2,5±0,2$ А/дм², плотность анодного тока $1,0±0,2$ А/дм², температура осаждения $45±5$ °С, давление подачи сжатого воздуха $0,2±0,05$ МПа, скорость вращения детали $15±5$ об/мин. При вышеуказанных режимах скорость осаждения КЭП составляет $0,5±0,6$ мкм/мин. Были получены покрытия различной толщины (20 + 200 мкм) в отсутствие и в присутствии углеродных наноматериалов, и оценены их физико-механические свойства при толщине КЭП 50 мкм, результаты которых представлены в таблице 1. Из данных таблицы видно, что при введении углеродных на-

номатериалов, причем в большей степени для УНВ, чем для УДА, наблюдается увеличение поверхностной и объемной концентрации алмаза в покрытии, а также рост микротвердости, при одновременном уменьшении коэффициента трения и интенсивности весового изнашивания в условиях сухого трения.

Таблица 1. Физико-механические свойства КЭП (толщина 50 мкм) при оптимальных режимах электроосаждения

Свойства КЭП	Ni-C	Ni-C-УДА	Ni-C-УНВ
Поверхностная концентрация алмазного порошка в покрытии, %	60+75	70+80	75+85
Объемная доля алмаза в покрытии, %	24	25	27
Микротвердость, МПа	3700+4500	4000+5000	5000+5700
Интенсивность весового изнашивания, мг/м	0,15+0,3	0,1+0,2	0,1+0,16
Коэффициент трения, от. ед.	0,55+0,65	0,5+0,6	0,45+0,5

В таблице 2 приведены эксплуатационные свойства алмазных режущих дисков. Из данных таблицы 2 видно, что введение УДА, еще в большей степени УНВ, приводит к уменьшению радиального износа лезвия, к снижению ширины реза при разделении подложек из полупроводниковых, сверхтвердых и керамических материалов в изделиях радиоэлектроники и приборостроения, а также к увеличению процента выхода годных изделий.

Таблица 2. Эксплуатационные свойства алмазных режущих дисков и процент выхода годных изделий

Свойства режущих дисков	Ni-C	Ni-C-УДА	Ni-C-УНВ
Износостойкость (радиальный износ лезвия на 100 м реза), мкм	21+25	19+22	15+18
Максимальная ширина реза при разделении материалов при толщине лезвия t, мкм	t+20	t+10	t+8
Выход годных изделий, %	97+98	98,0+98,5	98,5+98,8

Таким образом, в результате проведенного исследования разработан технологический процесс электрохимического осаждения композиционных покрытий никель-алмаз-УДА и никель-алмаз-УНВ на корпусной режущий инструмент для разделения подложек из полупроводниковых, сверхтвердых и керамических материалов. Показано, что введение углеродных наноматериалов – ультрадисперсного алмаза и углеродного нановолокна – приводит к увеличению микротвердости и износостойкости КЭП с одновременным уменьшением коэффициента трения, а также к существенному улучшению эксплуатационных свойств режущего инструмента. Техпроцесс электрохимического осаждения КЭП с углеродным наноматериалом планируется к внедрению в серийное производство в ГНПО «Планар» УП «КБТЭМ-СО» при изготовлении корпусного алмазного режущего инструмента

Список литературы

1. Патент РФ 12211 МПК Н 01 L 21/02 В 28 D 5/00 Алмазосодержащее корпусное устройство для резки полупроводниковых пластин / Антипов М.Н., Васильев В.Л., Гаевская Т.В., Гайдук И.Л. и др. Заявл. 2008.01.29. Оpubл. 2009.08.30.
2. I. Petrov, P. Detkov, A. Drovosekov // Diamond and related materials. – 2006. – V 15. – P. 2035-2038.