УДК 621.371

Філатов Ю.Д., докт. техн. наук, професор
Інститут надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України, м. Київ,
filatov2045@gmail.com
Бояринцев А. Ю., докт. техн. наук, с.н.с.
Інститут сцинтиляційних матеріалів НАН України, м. Харків boyarintsev@isma.kharkov.ua
Сідорко В.І., докт. техн. наук, доцент
ДП "Інженерно-виробничий центр АЛКОН" НАН України, sidorko@ism.kiev.ua
Ковальов С.В., канд. техн. наук
Інститут надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України, м. Київ philosof@online.ua
Ковальов В.А., канд. техн. наук, доцент
Юрчишин О.Я., канд. техн. наук, доцент
Національний технічний університет України «КПІ імені Ігоря Сікорського»,
urchyshynoks@ukr.net

ПОЛІРУВАННЯ НАПІВПРОВІДНИКОВИХ МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ ОПТОТЕХНІКИ

Підвищення якості елементів оптотехніки з напівпровідникових матеріалів можливе лише за удосконалення технології їх полірування та розробки нових полірувальних дисперсійних систем, які б забезпечували високу якість полірованих поверхонь за достатньої швидкості зняття оброблюваного матеріалу [1]. Метою даного дослідження є вивчення закономірностей впливу фізико-хімічних властивостей оброблюваного матеріалу та дисперсної системи на показники полірування напівпровідникових матеріалів.

Визначення показників полірування напівпровідникових матеріалів здійснювалось під час оброблення плоских поверхонь зразків оптоелектронних елементів на верстаті мод. 2ШП-200М за допомогою притиру з пінополіуретану діаметром 100 мм при зусиллі притискання деталі до притиру 50 Н, частоті обертання притиру 90 об/хв., зміщенні 30 мм та довжині штриха 80 мм, середній температурі в зоні контакту оброблюваної деталі та притиру 298 *K*. Полірування зразків з антимоніду індію *InSb* (густина 5,775 г/см^3, діелектрична проникність ε_0=16,8, коефіцієнт теплопровідності λ=11,2 Вт/(м·*K*)), карбіду кремнію *SiC* (густина 3,217 г/см^3, діелектрична проникність ε_0=6,5, коефіцієнт теплопровідності λ=490 Вт/(м·*K*)), кремнію *Si* (густина 2,328 г/см^3, діелектрична проникність ε_0=11,7, коефіцієнт теплопровідності λ=84 Вт/(м·*K*)), германію *Ge* (густина 5,323 г/см^3, діелектрична проникність ε_0=16, коефіцієнт теплопровідності λ=60 Вт/(м·*K*)), телуриду кадмію *CdTe* (густина 5,855 г/см^3, діелектрична проникність ε_0=10,6, коефіцієнт теплопровідності λ=6,2 Вт/(м·*K*)) і селеніду кадмію *CdSe* (густина 5,82 г/см^3, діелектрична проникність ε_0=9,7, коефіцієнт теплопровідності λ=6,9 Вт/(м·*K*)) здійснювалось за допомогою дисперсної системи з полірувальних мікро- та нанопорошків (густина 3,86 г/см^3, діелектрична проникність 6,1, коефіцієнт теплопровідності 1,0 Вт/(м·*K*)).

Розмір частинок полірувального порошку визначався за допомогою растрового електронного мікроскопу Zeiss-EVO50 з системою мікроаналізу AZtec. Зняття оброблюваного матеріалу визначалось ваговим методом за допомогою аналітичних терезів. Параметри шорсткості полірованих поверхонь визначали методом комп'ютерного моделювання та контролювали за допомогою безконтактного інтерференційного 3D профілографа Micron-alpha [2, 3].

У відповідності до сучасних уявлень про механізм взаємодії оброблюваної поверхні з частинками дисперсної фази полірувальної дисперсної системи, видалення оброблюваного матеріалу відбувається внаслідок перенесення енергії від частинок полірувального порошку до оброблюваної поверхні, яке відбувається як ферстерівське резонансне перенесення енергії (FRET) у відкритому мікрорезонаторі, що утворюється поверхнями колоїдних нанокристалів дисперсної фази і нанокристалів на оброблюваній поверхні [3, 4].

Ефективність FRET залежить від добротності мікрорезонатора на відповідних частотах, а швидкість зняття оброблюваного матеріалу визначається у відповідності до формули [2]:

$$Q = \eta L_t \frac{\tau}{t_c} q$$

де η – коефіцієнт об'ємного зносу;

L_t – довжина шляху тертя частинки полірувального порошку по оброблюваній поверхні;

$t_c = d/u$ – час контакту частинки полірувального порошку з оброблюваною поверхнею, (d = 409 нм – розмір частинок полірувального порошку; u – швидкість відносного переміщення деталі та притира;

τ – час життя кластерів оброблюваної поверхні у збудженому стані;

$q = \nu_1/(\nu_2 - \nu_1)$ – добротність резонатора (ν_2, ν_1 – частоти коливань молекулярних фрагментів кластерів на поверхні частинок полірувального порошку та на оброблюваній поверхні).

Результати визначення швидкості зняття оброблюваного матеріалу та параметрів шорсткості оброблених поверхонь наведено в таблиці.

Таблиця 1 – Показники полірування напівпровідникових матеріалів

Показники полірування	Оброблюваний матеріал					
	InSb	SiC	Si	Ge	CdTe	CdSe
Ширина забороненої зони E_g, еВ	0,18	2,90	1,10	0,66	1,50	1,74
Діелектрична стала ε_0	16,8	6,5	11,7	16,0	10,6	9,5
Швидкість зняття матеріалу, Q, 10^{-13} м^3/с	27,2	2,1	36,4	18,8	31,9	18,1
Продуктивність полірування, мг/хв. (мкм/год)	0,9 (11,4)	0,04 (0,8)	1,0 (13,7)	0,6 (3,4)	–	–
Параметри шорсткості						
Ra, нм	8,4±0,3	4,2±0,4	9,0±0,2	6,9±0,2	8,8±0,2	6,6±0,2
Rq, нм	8,8±0,3	4,3±0,2	9,4±0,4	7,4±0,2	9,3±0,3	7,0±0,3
*R*max, нм	14,4±1,7	7,8±0,7	14,4±1,6	12,4±0,7	14,7±2,0	11,3±1,0

В результаті досліджень показано, що під час полірування напівпровідникових кристалів антимоніду індію *InSb*, карбіду кремнію *SiC*, кремнію *Si*, германію *Ge*, а також халькогенідів кадмію *CdTe* і *CdSe* швидкість зняття оброблюваного матеріалу і параметри шорсткості полірованої поверхні зменшуються за збільшення їх ширини забороненої зони E_g і зростають за збільшення їх діелектричної проникності ε_0.

Список посилань

1. Філатов Ю.Д. Фізичні засади формоутворення прецизійних поверхонь під час механічної обробки неметалевих матеріалів. / Філатов Ю.Д., Сідорко В.І., Філатов О.Ю., Ковальов С.В. – К.: Наук. думка, 2017. – 248 с.

2. Filatov Yu.D., Boyarintsev A.Yu, Sidorko V.I., Kovalev S.V., Kolesnikov O.V. Polishing of polystyrene scintillators. Functional Mater. 2023. Vol. 30, no. 3. P. 424–430.

3. Filatov Yu.D., Sidorko V.I., Sokhan' S.V., Kovalev S.V., Boyarintsev A.Y., Kovalev V.A., Yurchyshyn O.Y. Roughness of Polished Surfaces of Optoelectronic Components Made of Polymeric Optical Materials. J. Superhard Mater. 2023. Vol. 45, no. 1. P. 54–64.

4. Filatov Yu.D., Sidorko V.I., Boyarintsev A.Y., Kovalev S.V., Kovalev V.A., Transfer Energy in the Interaction of an Optical Surface with a Polishing Disperse System. J. Superhard Mater. 2022, Vol. 44, no. 2. P. 117–126.