

Я.В.Мартинюк, Ю.Й.Бесарабець, Г.Ф.Корабльов, О.М.Грищенко
НТУ України "Київський політехнічний інститут", м.Київ, Україна

РОЗРОБКА ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ТОЧНОЇ ОБРОБКИ П'ЄЗОЕЛЕКТРИЧНИХ ПЛАСТИН ДЛЯ УЛЬТРАЗВУКОВИХ ДАТЧИКІВ ВИСОКИХ ЧАСТОТ

Рассмотрены и проанализированы основные виды нарушения формы и размеров, а также виды брака пьезокерамических пластин во время односторонней механической обработки путем шлифования и полирования свободным абразивом на однодисковом плоско-доводочном станке типа ЖК-1409. Предложенные технологическо-конструктивные средства по устранению вышеуказанных отрицательных факторов. По результатам экспериментальных данных построены диаграммы зависимости основных параметров процесса во время обработки.

Considered and analyzed basic types of violation of form and sizes and also types of marriage of piezoceramic plates during the one-sided tooling by grinding and polishing a free abrasive on the single-disk lapping machine model ЖК-1409. Offered technological-structural facilities on the removal of foregoing negative factors. On results experiment of information the diagrams of dependence of basic parameters are built during treatment.

Вступ

Вдосконалення функціональних можливості ультразвукових датчиків медичної і технічної діагностики та розширення діапазону частот до 30 МГц вимагає створення технології виготовлення біморфних перетворювачів та інтегральних структур на основі об'ємних п'єзоелектричних матеріалів з товщиною елементів 10...100 мкм та їх розмірами до 100...300 мкм [1, 2]. Технології [3, 4, 5, 6] потребують надточної обробки (0,5-1,5 мкм по товщині) п'єзоелектричних пластин відносно великих розмірів з наступною їх металізацією, з'єднанням дифузійним зварюванням в пакети [7, 8, 9, 10] та обробкою окремих пластин в пакетах. Вимоги по якості поверхні, точності по товщині для п'єзоелектричних пластин відповідають кремнієвим пластинам, але є жорсткішими, враховуючи менші значення по товщині при відносно менших розмірах. В роботі розглянута можливість застосування технологічного процесу та обладнання для обробки кремнієвих пластин малих розмірів, розроблено та досліджено технологічний процес високоточної обробки п'єзоелектричних пластин діаметром 40мм.

Технологічний процес механічної обробки п'єзокерамічних пластин

За основу створення технології обробки п'єзоелектричних пластин використано технологічний процес шліфування та полірування кремнієвих пластин діаметром 40 мм з використанням верстатів типу ЮФ-7 двохстороннього шліфування пластин вільним абразивом в сепараторах та площинно-викінчувальних верстатів ЖК-1409 одно-стороннього шліфування та полірування деталей закріплених на планшайбу [4, 11]. В процесі двостороннього шліфування проводиться попередня обробка пластин після їх нарізання з метою усунення грубих порушень та розбракування пластин в групи з однаковою товщиною. Дослідження технологічного процесу обробки п'єзокерамічних

пластин показало, що двостороннє шліфування пластин на верстаті ЮФ-7 забезпечує точність по товщині окремих пластин в межах 1 - 1,5 мкм при різниці між товщиною пластин в одній одночасно оброблюваній групі в межах 5 – 7 мкм при загальній товщині пластин до 0,15 – 0,25 мм. Процес потребує періодичного контролю та правки робочої поверхні притирів верстату. В наступному шліфіванні з двох сторін пластини сортуються в групи з однаковими розмірами, базуються за допомогою віск-каніфольних сумішей шляхом нагрівання планшайби, суміщення пластин з поверхнею планшайби та її охолодженням під притисканням до планшайби. Верстат ЖК-1409 забезпечує грубе та тонке шліфування пластин закріплених на трьох металевих планшайбах Ø173 мм на чавунному або скляному притирі з зовнішнім діаметром 380 – 400 мм та внутрішнім отвором в межах 100 – 120 мм. Полірування виконується на замші або батисті, що закріплені на притирі. Використовуються окремі технологічні пристрої та операції для правки притиру верстату та його планшайб. В процесі односторонньої обробки пластин виявлено, що після зняття оброблених пластин з планшайби точність виготовлення окремих пластин по товщині знаходиться в межах 2 – 3 мкм, а різниця між товщинами пластин досягає 10 мкм. Реальна точність обробки пластин на одній планшайбі не перевищує 7 – 15 мкм.

Основними причинами низької точності односторонньої обробки є:

— нерівномірне зношування та значні відхилення від площинності робочих поверхонь притиру та планшайби, які створюються в процесі шліфування, недостатня можливість їх зменшення за рахунок вибору величини ексцентриситету між осями планшайби та притиру через незадовільну симетрію взаємодіючих поверхонь та не співвісність їх з осями обертання;

— недосконала реалізація методу базування пластин на робочу поверхню планшайби та неконтрольовані товщини віск-каніфольного шару під пластиною.

Визначення впливу нерівномірності зношування планшайби і притира на відхилення розмірів пластин

Основним фактором, який визначає форму поверхні оброблюваних деталей і притиру та їх зміну у процесі обробки на площинно-викінчувальному верстаті є величина ексцентриситету e між осями обертання планшайби і притиру. Процес дозволяє формувати плоску робочу поверхню планшайби та притиру. Якщо виключити вплив неоднорідності властивостей оброблюваного матеріалу, несиметричності розміщення кільцевих зон закріплення деталей та робочої поверхні притиру відносно осей обертання притиру та планшайби, а також факторів в зоні обробки між поверхнями деталей та притиру, в тому числі розмірів зерна абразиву та його розподілення по поверхні, то в процесі доведення взаємодіючі поверхні планшайби, деталей та притиру по формі співпадають одна з одною [12, 13]. З них одна може бути сферично опуклою, а інша відповідно ввігнутою і навпаки. При оптимальному значенні ексцентриситету ці поверхні можуть набувати плоскої форми.

Найбільш поширений метод контролю площинності поверхні притиру та планшайби базується на використанні лекальних лінійок по оцінці наявності та

спостереження зазору між ребром лекальної лінійки та контрольованою поверхнею. Метод дозволяє виявляти відхилення до 1,5 мкм. Оцінимо можливі величини різнотовщинності пластин δ , що можуть бути отримані в процесі їх обробки при умові виключення впливу товщини шару клею між пластиною і робочою поверхнею планшайби. Розглянемо крайні випадки, наприклад коли опуклими є як робоча поверхня планшайби, так і поверхня притиру, рис. 1, або навпаки — поверхні ввігнуті з відповідними радіусами кривизни планшайби $r_{ш}$ та притиру $r_{п}$. Радіус кривизни поверхні визначається виразом: $r = \frac{L^2}{8 \cdot \Delta}$, де L - величина бази на якій контролюється

значення Δ — відхилення від площинності поверхні. Для наступних розрахунків приймаємо значення $\Delta = 1,5 \text{ мкм}$. Зі схеми рис.1. видно, що поверхні оброблюваних пластин отримують сферичну форму, що зумовлює відмінність товщини в межах як кожної пластини, так і між пластинами, розміщеними особливо в центрі та на периферії поверхні планшайби. Похибка товщини пластин δ буде складатися з двох відхилень: δ_1 — відхилення, зумовленого відхиленням від площинності поверхні планшайби Δ_1 , та δ_2 — відхилення, зумовленого відхиленням від площинності поверхні притиру Δ_2 та Δ_3 . Величини δ_1 та δ_2 визначаємо як відстані від паралельних площин відповідно $P-P$ та $N-N$, що обмежують розміщення оброблюваних пластин зі сторони планшайби та зі сторони притиру до ділянок пластин, що мають найбільше відхилення.

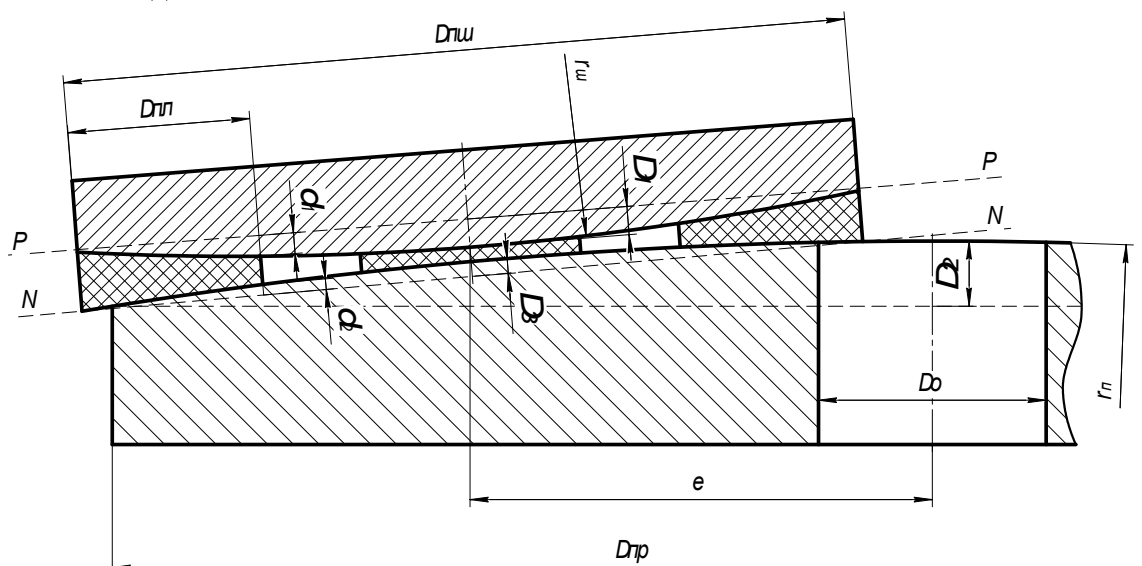


Рис. 1. Схеми для визначення відхилення товщини пластин з врахуванням кривизни базової та робочої поверхонь планшайби та притиру

Відхилення δ_1 та δ_2 визначаються виразом:

$$\delta_i = \sqrt{\left(\frac{L^2}{8 \cdot \Delta}\right)^2 - (R)^2} - \sqrt{\left(\frac{L^2}{8 \cdot \Delta}\right)^2 - \left(\frac{D}{2}\right)^2}, \quad (1)$$





де Δ — найменше контрольоване відхилення поверхні від площинності, що визначається на базі довжиною L відповідно як планшайби, так і притиру; D — зовнішній діаметр кільцевої зони, в якій закріплені пластини відхилення яких розглядається; R — відстань від осі обертання планшайби до точки на пластині, відхилення якої визначаємо.

Розглянемо відхилення розмірів пластин за схемою зображеною на рис.1, при умовах: 1 - значення бази L для планшайби є рівним її діаметру $D_{\text{пш}}$, а для притиру база дорівнює діаметру притиру $D_{\text{пр}}$ і, крім того, варіант, коли база дорівнює ширині кільцевої зони притиру $(D_{\text{пр}} - D_0)/2$; 2 - поверхні притиру та планшайби одночасно мають випуклу або ввігнуту форму, а також варіанти, коли поверхня планшайби має плоску форму, а притир ввігнуту або опуклу форму робочої поверхні.

Результати розрахунків наведено в таблиці 1.

Таблиця 1

Визначення відхилень товщини пластин

Розташування пластини	Вид форми поверхонь планшайби та притиру	L , мм для планшайби	L , мм для притиру	δ , мкм
На периферії		170	380	1,38
		170	140	2,16
В центрі		170	380	0,30
			140	1,08
		170	380	1,92
			140	3,0
			380	0,42
			140	1,5

Найбільше відхилення розміру пластини, що знаходиться на периферії планшайби, в найгіршому випадку складе 2,16 мкм, а пластини, що розташована в центральній зоні відповідно 3,0 мкм. Аналізуючи отримані результати слідує, що доцільно обмежитись закріпленням пластин тільки в кільцевій зоні на периферії планшайби. Крім того, підвищення точності обробки вимагає використовувати більш точні методи виявлення неплоскості поверхні планшайби та притиру. Для базової поверхні планшайби є можливим використання методів на основі явищ інтерференції, а для робочої поверхні притиру реально можливим є збільшення бази L до розмірів в межах 300мм. При цих умовах з наведених результатів таблиці 1 є можливим обробка пластин $\varnothing 40$ мм на площинно-викінчувальному верстаті ЖК-1409 з точністю по товщині в межах 0,5 – 1,0 мкм.

Вплив базування пластин на формоутворення поверхні притиру та точність обробки пластин

Розглянемо формоутворення взаємодіючих поверхонь, планшайби, притиру та деталей у випадках, коли мають місце несиметричне розміщення та закріпленням деталей на планшайбі, неспіввісність зони закріплення деталей з віссю обертання планшайби, а також несиметричне розміщення робочої поверхні притира та неспіввісність її вісі з віссю обертання притира.

Відхилення від симетричності робочої поверхні притира та співвісності осі обертання не дозволяють досягти плоскої форми її поверхні за рахунок вибору величини ексцентриситету і спричиняють утворення ділянок з опуклою та ввігнутою формою, розміщених діаметрально протилежно на притирі. Це відображено на рис. 2., де на ділянках *АВ* та *ВГ* поверхні притиру має місце відповідно опукла та ввігнута форма, яка спостерігається за допомогою лекальної лінійки при неспіввісності внутрішньої і зовнішньої границі поверхні притиру не менше 5 – 10 мм. Крім того, відхилення від симетричності розташування пластин на планшайбі створює системно повторювані неоднорідні сили взаємодії між поверхнями деталей і притиру та додаткове зношення зон поверхні притиру біля її внутрішньої і зовнішньої границі. За допомогою лекальної лінійки зношення спостерігаються, що відображено на рис.2. лініями між точками *А*, *Б*, *В*, *Г* та границями планшайби, коли зміщення груп пластин по 4 по колу в протилежні сторони з восьми забазованих $\varnothing 40$ мм складає не менше 5 мм. В свою чергу наведені відхилення спричиняють додаткове зняття матеріалу на поверхні оброблюваних пластин біля їх периметра.

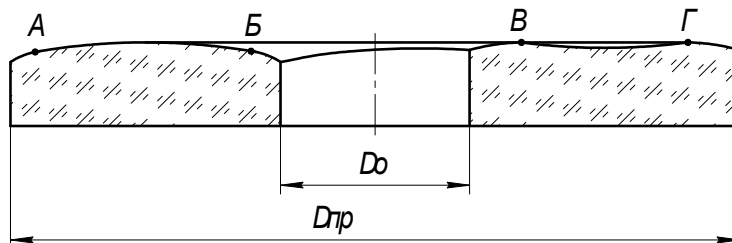


Рис. 2. Результати дослідження впливу несиметричності розташування пластин на планшайби

Усунення недоліків вимагає використання притира зі значно меншими відхиленнями форми і розмірів та більш досконалих методів і пристроїв базування пластин на планшайбу. Обладнання верстатів ЖК-1409 не забезпечує симетричне розміщення

деталей на планшайбі при базуванні, якісне закріплення по величині та однорідності товщини шару клею та відсутності в ньому газових і механічних включень. Основна причина - суттєво більший, майже на порядок, коефіцієнт теплового лінійного розширення матеріалу планшайб. Типові значення коефіцієнту розширення п'єзокерамічних пластин не перевищують $(1-3) \cdot 10^{-6} / ^\circ\text{C}$. Запропоновано використовувати склокераміку ситал СО115М для планшайб, коефіцієнт теплового лінійного розширення якого не перевищує коефіцієнт розширення матеріалу пластин. Термічні та механічні властивості ситалу дозволяють виготовляти високоточні планшайби, застосовувати інтерференційні методи контролю площинності базової поверхні, проводити базування при значних температурах та силах притискання.

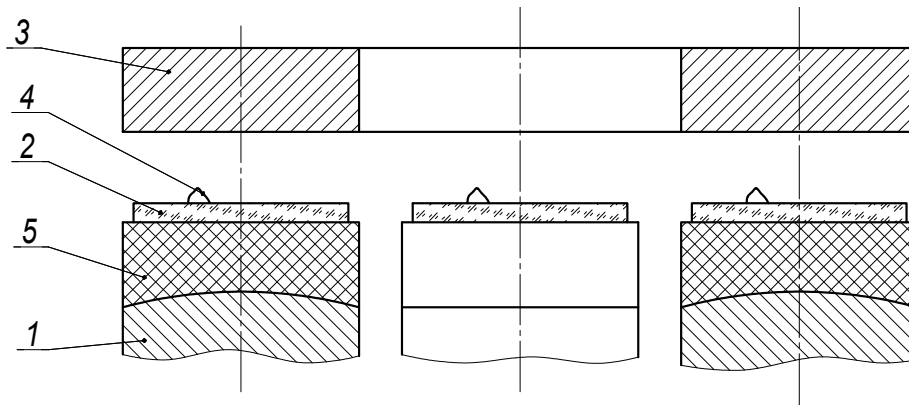


Рис. 3. Схема закріплення п'єзокерамічних пластин запропонованим методом

Для поліпшення технологічного процесу обробки п'єзокерамічних пластин розроблено пристрій базування, рис. 3 [14]. Використано окремі притискачі 1 для базування кожної пластини. Притискачі розміщено симетрично, вони мають можливість обертання відносно власних осей. В пристрої забезпечено горизонтальне вісесиметричне розташування нагрітої до необхідної температури планшайби над притискачами, вертикальне переміщення та суміщення її базової поверхні з п'єзокерамічними пластинами, установлених та зафіксованих співвісно на індивідуальних притискачах. Крім того, забезпечена необхідна контрольована сила притиску пластин до планшайби з плавним зменшенням сили тиску від центру пластини до їх периферії в межах 20%. Закріплення пластин виконують наступним чином. Попередньо поверхні пластин 2 і планшайби 3 відмивають та сушать відпалом при температурі вище +100 °С. Пластини фіксують на прокладках 5 у відповідності зі схемою закріплення. На базовій поверхні кожної пластини укладають гранулу клею 4 в одній точці, зміщеній від центра на відстані $0,25 \div 0,5$ радіуса пластин. Плавним переміщенням та наближенням планшайби пластини нагрівають, розплавляють гранули клею на них та базовою поверхнею планшайбу з'єднують з пластинами.

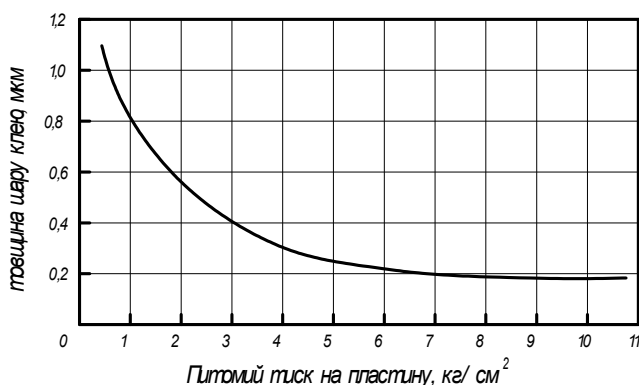


Рис. 4. Графік залежності товщини клею при закріплення пластин від тиску

Пластини притискають до поверхні планшайби за рахунок сили, створеної вагою планшайби. Після чого притискачі повертають і пластини притирають до поверхні планшайби. У момент притирання пластин поступово збільшують силу тиску. Процес притирання закінчують, коли сила тиску досягає $0,5 \dots 1,0$ кг/см². Після притирання прикладають дода-

товщиною до 0,2 – 0,4 мм визначено, що величина тиску від 1 до 10 кг/см² забезпечує товщину шару клею 1 - 0,2 мкм, рис. 4, з розподіленням товщини клею під пластинами в межах $\pm 30\%$.

Дослідження технологічного процесу обробки п'єзокерамічних пластин

Розроблений технологічний процес використано для виготовлення несиметричних п'єзоелектричних біморфів $\varnothing 40$ мм, в яких пластини з товщиною 200 та 20 мкм з'єднані між собою дифузійним зварюванням через металеві електроди на їх поверхнях на основі срібла товщиною 1 мкм. Біморфи призначені для виготовлення на їх основі інтегральних п'єзоелектричних перетворювачів [7, 8, 10]. Технологічний процес реалізовано на основі двох верстатів ЮФ-7 для грубого та тонкого двостороннього шліфування п'єзокерамічних пластин $\varnothing 40$ мм до товщини 250 мкм, та чотирьох верстатів ЖК-1409 для грубого та тонкого шліфування та полірування з однієї сторони окремих пластин до товщини 200 мкм та однієї пластини в біморфі до товщини 20 мкм.

В результаті дослідження процесів обробки пластин були отримані залежності швидкості знімання припуску шліфуванням від частоти обертання притиру при різних абразивних матеріалах, що відображені на рис. 5.

Полірування пластин проводилось після чистового шліфування мікропорошком на основі електрокорунду білого МЗ. Процес грубого полірування виконувався на замшевому притирі для закруглення фасок на периметрі пластин. Чистове полірування пластин проводилось на батистовому притирі для зняття порушеного шару.

П'єзокераміка типу ЦТС-19 піддається поліруванню алмазною пастою АСМ 1/0. В початковій стадії обробки за час 15 – 20 хв. знімається припуск по товщині в межах 3 – 5 мкм, який близький до розмірів кристалітів п'єзокераміки і є порушеним шаром на поверхні пластини після чистового шліфування. В наступному швидкість процесу полірування майже на порядок зменшується.

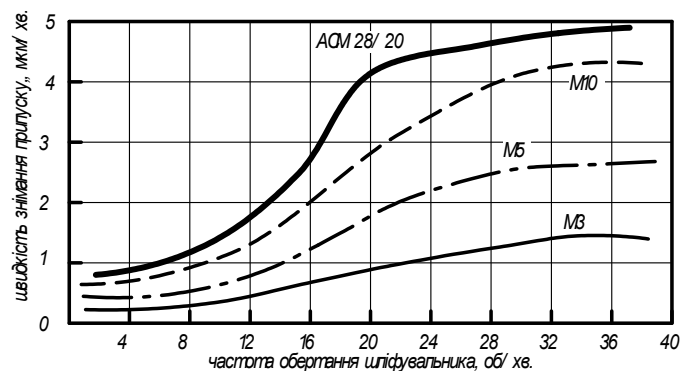


Рис 5. Результати обробки експериментальних даних після обробки дослідної партії пластин

Технологічний процес дозволив одержати окремі п'єзоелектричні пластини з точністю по товщині не гірше 1 мкм та забезпечити точність не гірше 1,5 мкм тонкої пластини в біморфі. В технологічному процесі була забезпечена точність розміщення робочих поверхонь притирів та співвісність їх осі обертання не гірше 0,3 мм, а точність розміщення і співвісність пластин на планшайбі не гірше 1 мм. При даних умовах створювалось однозначне контрольоване формування опуклої або ввігнутої поверхні

притиру при шліфуванні та при значенні відхилення ексцентриситету в межах 5 мм від оптимального.

Висновки

1. Досліджено технологічний процес обробки п'єзоелектричних пластин на базі технологій та обладнання для обробки кремнієвих пластин малих діаметрів, що застосовується в мікроелектронній промисловості. Визначена необхідність підвищення точності формоутворюючих поверхонь планшайби та притиру і співвісності їх осей обертання та процесу базування пластин на планшайбу.

2. Розроблено та досліджено пристрій базування п'єзокерамічних пластин на планшайби з близькими коефіцієнтами лінійного термічного розширення. Забезпечено базування пластин в осесиметричній зоні на поверхні планшайби з точністю розміщення до 1 мм та товщиною клею до 0,2 мкм.

3. Розроблено та досліджено технологічний процес обробки окремих п'єзоелектричних пластин Ø40 мм товщиною 0,2 мм і пластин з'єднаних в біморфи товщиною до 0,02 мм та точністю відповідно 1 і 1,5 мкм за рахунок підвищення точності формоутворюючої поверхні притира, її співвісності вісі обертання, якості планшайби та точності базування пластин, використання послідовно процесів грубої та чистової обробки на етапах двостороннього та одностороннього шліфування і полірування.

Список літератури

1. Самофалов К. Г. Диэлектрическая элементная база и ее применение. Сборник статей. — К.: Техніка, 1984, 130с.
2. Патент Японії. Ультразвуковой датчик, №6-318033 від 21.12.1994р.
3. Зубаков В.Г., Семибратов М.Н. Технология оптических деталей. — М.: Машиностроение, 1985.
4. Бочкин О.И., Никифорова-Денисова С.Н. Механическая обработка полупроводниковых материалов. — М.: ЦНИИ Электроника, 1984.
5. Новиков Н.В., Бертольди В. Обработка полупроводниковых материалов. — К.: Наукова думка, 1982.
6. Мартынюк Я.В., Самофалов К.Г., Сидоренко С.И. и др. Способ изготовления пьезоэлектрического элемента, а.с. №1690417.
7. Божко А.А., Дидковский В.С., Мартинюк О.Я. Анализ биморфной пьезоэлектрической мембраны миниатюрного микрофона. — Электроника и связь, 2000, т.2, №8, с.242-244.
8. Патент США. Методы изготовления композитных пьезоэлектрических преобразователей, № US 6,467,140 B2, 2002
9. Мартынюк Я.В., Мартинюк О.Я. Анализ процессов в структурах на биморфных пьезоэлектрических преобразователях при импульсном возбуждении. — Электроника и связь, 2000, №9, с.118-122.
10. Божко А.А., Дидковский В.С., Мартынюк Я.В., Мартинюк О.Я. Биморфный пьезоэлектрический преобразователь распределённого давления. — Электроника и связь, 2001, №11, с.125-127.
11. Бочкин О. И., Брук В. А. Механічна обробка напівпровідникових матеріалів. — М.: Вища школа, 1973, 93с.
12. Куманин К.Г. Формообразование оптических поверхностей. — М.: ОБОРОНГИЗ, 1962.
13. Рогов В.В. Современные пути развития технологий обработки деталей оптики и электроники. — К.: 1998.
14. Мартынюк Я.В., Полковниченко Ю.Г., Кудренко Е.И., Мурзаханов В.Н. Устройство для крепления деталей, а.с. №1159226