

УДК 537.32

Анатичук Л.І.^{1,2}, Кобилянський Р.Р.^{1,2}, Константинович І.А.^{1,2}, Кузь Р.В.^{1,2},
Маник О.М.², Ніцович О.В.^{1,2}, Черкез Р.Г.^{1,2}

¹Інститут термоелектрики НАН і МОН України, вул. Науки, 1,
Чернівці, 58029, Україна;

²Чернівецький національний університет ім. Юрія Федьковича,
вул. Коцюбинського 2, Чернівці, 58012, Україна

ТЕХНОЛОГІЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ТЕРМОЕЛЕКТРИЧНИХ МІКРОБАТАРЕЙ

У роботі наведено результати розробки технології виготовлення термоелектричних мікробатарей, що значно спрощує та механізує методику виготовлення термоелектричних сенсорів теплового потоку та мікрогенераторів для живлення малопотужної медичної апаратури. Встановлено, що запропонована технологія знижує відсоток браку пластин термоелектричного матеріалу і, таким чином, знижує собівартість термоелектричних мікробатарей. Експериментально підтверджено ефективність використання такої технології для виготовлення термоелектричних мікробатарей з вітками малого перерізу від 0.02×0.02 мм до 1.0×1.0 мм та довжиною віток до 30 мм.

Ключові слова: технологія виготовлення, термоелектрична мікробатарея, сенсор теплового потоку, термоелектричний мікрогенератор.

The present paper gives the results of development of technology for manufacturing thermoelectric microthermopiles which simplifies considerably and mechanizes the method for manufacturing thermoelectric heat flux sensors and microgenerators for power supply to low-power medical equipment. It was established that proposed technology reduces the percentage of rejected thermoelectric material plates and thus reduces the cost of thermoelectric microthermopiles. The efficiency of using such technology for manufacturing thermoelectric microthermopiles with the legs of small cross-section from 0.02×0.02 mm to 1.0×1.0 mm and the length up to 30 mm was experimentally confirmed.

Key words: manufacturing technology, thermoelectric microthermopile, heat flux sensor, thermoelectric microgenerator.

Вступ

Загальна характеристика проблеми. Відомо, що ще на перших етапах проектування термоелектричних мікрогенераторів (наприклад для живлення малопотужних електронних пристроїв, систем телеметрії, навігації, ІЧ-детекторів, а також для живлення військової та медичної техніки) було встановлено, що термоелектричні батареї для них повинні мати незвичайну конструкцію, яка суттєво відрізняється від традиційних генераторних модулів [1 – 3]. Наприклад для ізотопних термоелектричних мікрогенераторів з електричною потужністю у діапазоні $0.05 \div 2.5$ Вт, перепадом температур на модулі $100 \div 200$ К і робочою напругою $5 \div 15$ В необхідно використовувати вітки батарей довжиною до $10 \div 20$ мм з

перерізом від 0.2×0.2 мм до 0.5×0.5 мм. Однак для живлення малопотужної медичної апаратури при малих перепадах температур на модулі до 10 К та електричній потужності у діапазоні $0.05 \div 5$ мВт необхідно використовувати вітки батарей з перерізом від 0.02×0.02 мм до 1×1 мм. При цьому кількість віток у термоелектричній батареї має бути від кількох сотень до кількох тисяч і більше. Виконання таких вимог – досить складна технологічна задача [4 – 8].

Спроби створення таких мікробатарей зводились до використання плівкових технологій [9]. Були створені плівкові термобатареї у вигляді стрічок, які потім можна згорнути у компактний рулон. Для виготовлення таких батарей використовувались магнетронне напилення та інші технології в сукупності з методами фотолітографії. У термобатареях були використані термоелектричні матеріали на основі *Bi-Te*. Однак результати випробувань плівкових термобатарей виявили низку їх суттєвих недоліків: підкладки, на яких формувалися термобатареї, шунтували тепловий потік, що призводило до зниження ККД; різний коефіцієнт лінійного розширення плівок і підкладки (зазвичай поліамід 5 мкм) призводив до виникнення термічних напружень у термобатареях, що сприяло відмовам під час їх роботи; процеси рекристалізації у плівках призводили до деградації батарей і погіршення їх термоелектричних властивостей; створення надійних теплових контактів між термобатареєю, джерелом тепла і корпусом викликало труднощі, що призводило до додаткових втрат різниці температур на гранях термоелектричної батареї. Сукупність перерахованих вище проблем врешті призвела до відмови від застосування плівкових батарей у термоелектричних мікрогенераторах.

Тому метою даної роботи є розробка спеціальної технології виготовлення термоелектричних мікробатарей з підвищеною щільністю елементів (до декількох тисяч віток малого перерізу від 0.02×0.02 мм до 1.0×1.0 мм і довжиною до 30 мм) для виготовлення термоелектричних сенсорів теплового потоку та мікрогенераторів для живлення малопотужної медичної апаратури.

Технологія виготовлення термоелектричних мікробатарей з підвищеною щільністю елементів [10, 11]

За основу було взято технологію виготовлення термоелектричних мікробатарей, приведену в роботі [10]. Запропонована в даній статті технологія виготовлення термоелектричної мікробатареї [11] включає підготовку пластин *n*- і *p*-типу провідності з нанесенням на торцеві поверхні антидифузійних шарів, виготовлення прорізів у цих пластинах, покриття внутрішніх поверхонь пластин з прорізами електроізоляційним компаундом та з'єднання пластин таким чином, щоб між ними утворився зазор $10 \div 30$ мкм, заповнений компаундом; після полімеризації компаунду зовнішні частини пластин видаляють до утворення пластини, яка складається з віток *n*- і *p*-типу провідності, з'єднаних між собою; пластини з віток *n*- і *p*-типу провідності розташовують одна над одною та з'єднують компаундом для формування термоелектричної мікробатареї, комутацію віток якої здійснюють металізованими антидифузійними шарами; теплопереходи на гарячій і холодній поверхнях термоелектричної мікробатареї створюють високотемпературним компаундом з теплопровідними наповнювачами.

На рис. 1 наведено схему, яка демонструє ідею запропонованої технології виготовлення термоелектричних мікробатарей з підвищеною щільністю елементів [11]. Така технологія полягає в наступному. Спочатку виготовляють прямокутні пластини *n*- і *p*-типу провідності з нанесенням на торцеві поверхні антидифузійних шарів 1–4 (рис. 1а). На спеціально розробленому обладнанні (наприклад багатострунному розрізувальному верстаті) у пластинках

роблять прорізи необхідних розмірів 5 – 6 (рис. 1б). Внутрішні поверхні пластин покривають високотемпературними компаундами з робочою температурою $300 \div 400$ °С, після чого пластини з'єднують таким чином, щоб між ними утворився зазор $10 \div 30$ мкм, заповнений компаундом 7 (рис. 1в). Після полімеризації компаунду зовнішні частини пластин видаляють до утворення пластини 8, яка складається з віток n - і p -типу провідності, з'єднаних між собою (рис. 1г). Потім пластини з віток n - і p -типу провідності розташовують одна над одною та з'єднують компаундом для формування термоелектричної мікробатарей (рис. 1д). Комутацію віток здійснюють металізованими антидифузійними шарами. Теплопереходи на гарячій і холодній поверхнях батарей створюють високотемпературним компаундом з теплопровідними наповнювачами – алмазними або корундовими порошками.

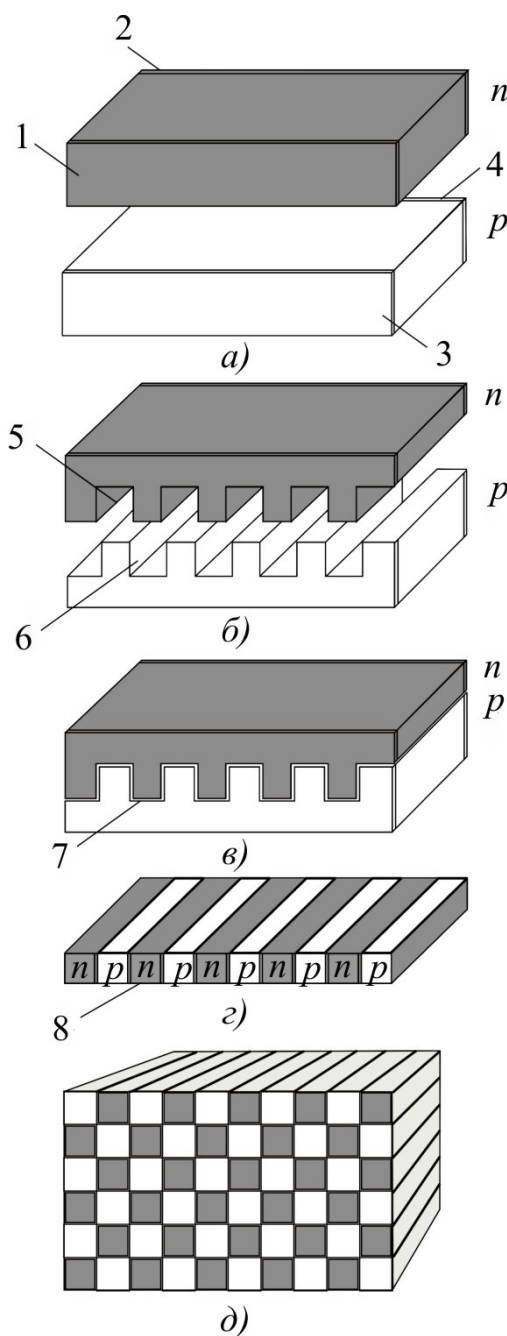


Рис. 1. Схема технології виготовлення термоелектричних мікробатарей

з підвищеною щільністю елементів [11]

Випробування запропонованої технології підтвердили ефективність її використання для виготовлення термоелектричних мікробатарей з вітками малого перерізу від 0.02×0.02 мм до 1.0×1.0 мм. Така технологія значно спрощує та механізує методику виготовлення термоелектричних мікробатарей з великою кількістю віток *n*- і *p*-типу провідності.

Вдосконалення технології виготовлення термоелектричних мікробатарей [12]

Недоліком вказаної вище технології виготовлення термоелектричних мікробатарей є значний відсоток браку пластин термоелектричного матеріалу внаслідок мікротріщин, що можуть виникають при їх шліфовці.

Вказана проблема вирішується при використанні вдосконаленої технології виготовлення термоелектричних мікробатарей [12], яка полягає в тому, що видалення зовнішніх частин з'єднаних пластин відбувається у три етапи: шліфування пластин з однієї сторони, склеювання таких пластин шліфованими сторонами між собою та шліфування обох зовнішніх сторін новоутворених подвійних пластин.

Запропонована технологія дає можливість спільно формувати вітки малого перерізу від 0.01×0.01 мм до 1.0×1.0 мм та їх компонувати у термоелектричні мікробатареї з довжиною віток до 30 мм.

На рис. 2 наведено схему, яка демонструє ідею запропонованої технології виготовлення термоелектричної мікробатареї [12]. Така технологія полягає в наступному. Спочатку виготовляють прямокутні пластини *n*- і *p*-типу провідності з нанесенням на торцеві поверхні антидифузійних шарів 1–4 (рис. 2а). На спеціально розробленому обладнанні (наприклад багатострунному розрізувальному верстаті) у пластинках роблять прорізи необхідних розмірів 5–6 (рис. 2б). Внутрішні поверхні пластин покривають високотемпературними компаундами з робочою температурою 300–400 °С, після чого пластини з'єднують таким чином, щоб між ними утворився зазор 10–30 мкм, заповнений компаундом 7 (рис. 2в). Після полімеризації компаунду видаляють зовнішні частини з'єднаних пластин у три етапи: шліфування пластин з однієї сторони до утворення пластини 8 (рис. 2г), склеювання таких пластин шліфованими сторонами між собою до утворення пластини 9 (рис. 2д) та шліфування обох зовнішніх сторін новоутворених подвійних пластин 9 до утворення пластини 10, яка складається з віток *n*- і *p*-типу провідності, з'єднаних між собою (рис. 2е). Потім пластини з віток *n*- і *p*-типу провідності розташовують одна над одною та з'єднують компаундом для формування термоелектричної мікробатареї 11 (рис. 2ж). Комутацію віток здійснюють металізованими антидифузійними шарами. Теплопереходи на гарячій і холодній поверхнях батарей створюють високотемпературним компаундом з теплопровідними наповнювачами – алмазними або корундовими порошками.

Експериментальні випробування запропонованої технології підтвердили ефективність її використання для виготовлення термоелектричних мікробатарей з вітками малого перерізу від 0.01×0.01 мм до 1.0×1.0 мм. Така технологія значно знижує відсоток браку пластин термоелектричного матеріалу внаслідок зменшення кількості мікротріщин, що можуть виникати при їх шліфовці і, таким чином, знижує собівартість термоелектричних мікробатарей. Це, в свою чергу, підвищує надійність виготовлених термоелектричних сенсорів теплового потоку та мікрогенераторів для живлення малопотужної медичної апаратури.

На рис.3 представлено зовнішній вигляд виготовленої за вказаною вище технологією термоелектричної мікробатарей розміром $(10 \times 10 \times 2)$ мм з перерізом віток 0.02×0.02 мм.

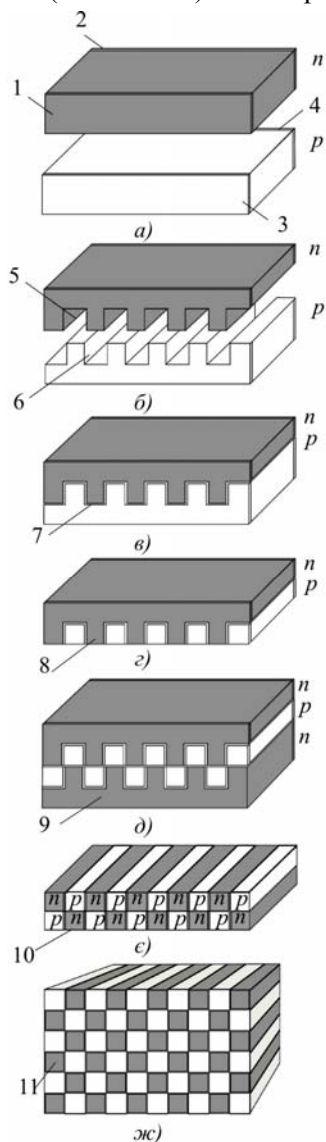


Рис. 2. Схема технології виготовлення термоелектричних мікробатарей [12]

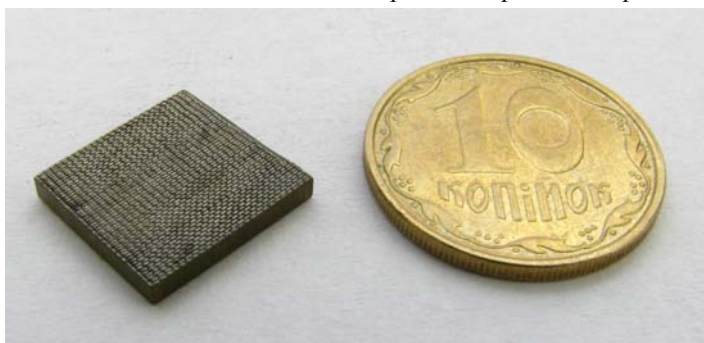


Рис.3. Зовнішній вигляд виготовленої за вказаною технологією термоелектричної мікробатарей розміром $(10 \times 10 \times 2)$ мм з перерізом віток 0.02×0.02 мм

На основі вказаної вище технології було виготовлена серія термоелектричних мікробатарей розміром $(10 \times 10 \times 2)$ мм з вітками малого перерізу від 0.02×0.02 мм до 1.0×1.0 мм. Таким чином, було експериментально підтверджено ефективність використання запропонованої технології для виготовлення термоелектричних мікробатарей з підвищеною щільністю елементів.

Висновки

1. Розроблено спеціальну технологію виготовлення термоелектричних мікробатарей з підвищеною щільністю елементів (до декількох тисяч) на основі високоефективних напівпровідникових матеріалів, що значно спрощує та механізує методику виготовлення термоелектричних сенсорів теплового потоку та мікрогенераторів для живлення малопотужної медичної апаратури.
2. Експериментально підтверджено ефективність використання запропонованої технології для виготовлення термоелектричних мікробатарей з вітками малого перерізу від 0.02×0.02 мм до 1.0×1.0 мм та довжиною віток до 30 мм.
3. Встановлено, що запропонована технологія знижує відсоток браку пластин термоелектричного матеріалу внаслідок зменшення кількості мікротріщин, що можуть виникати при їх шліфовці і, таким чином, знижує собівартість термоелектричних мікробатарей.

Література

1. Анатичук Л.І. Термоэлементы и термоэлектрические устройства: Справочник. – Киев, 1979. 768 с.
2. L.I.Anatychuk, *Thermoelectricity, Vol.1, Physics of Thermoelectricity* (Kyiv, Chernivtsi: Institute of Thermoelectricity, 1998), 376 p.
3. Анатичук Л.І. Термоэлектричество. Т. 2. Термоэлектрические преобразователи энергии. – Киев, Черновцы: Институт термоэлектричества, 2003. 376 с.
4. Геращенко О.А. Основы теплотриии. Киев, 1971. 192 с.
5. Геращенко О.А., Грищенко Т.Г., Декуша Л.В. Методика конструирования оптимальных преобразователей теплового потока *Проблемы энергосбережения*. 1990. Вып.3. С. 36 – 42.
6. Демчук Б.М. Підвищення надійності багатоелементних мініатюрних термобатарей методом пасивного резервування *Термоелектрика*. 2003. № 1. С. 60 – 63.
7. Демчук Б.М., Лусте О.Я. Інформаційно-енергетичний опис термоелектричних багатоелементних термобатарей *Термоелектрика*. 2003. № 2. С. 54 – 56.
8. Патент № 67369А. Термоелектрична батарея Анатичук Л.І., Демчук Б.М., Лусте О.Я. –2004.
9. Б.М. Гольцман, З.М. Дашевский, В.И. Кайданов, Н.В. Коломеец Пленочные термоэлементы: физика и применение отв. ред. Н.С. Лидоренко. Москва, 1985. 232 с.
10. Демчук Б.Н., Лусте О.Я. Способ сборки термоэлектрической батареи Авторское свидетельство № 1145857. 1984.
11. Спосіб виготовлення термоелектричної мікробатарей пат. 93217 Україна, МПК H01L 35/00. № u201403210; заявл. 31.03.14; опубл. 25.09.14, Бюл. № 18.
12. Заявка на корисну модель № u201612914 від 19.12.2016 р. Спосіб виготовлення термоелектричної мікробатарей // Анатичук Л.І., Кобилянський Р.Р. – Інститут термоелектрики; Чернівецький національний університет ім. Ю.Федьковича. – 2016.

Надійшла до редакції 23.01.2017