

**Запаров С.Ф.<sup>1</sup>, Захарчук Т.В.<sup>1,2</sup>**



*Запаров С.Ф.*

<sup>1</sup>Институт термоэлектричества НАН и МОН  
Украины, ул. Науки, 1, Черновцы,  
58029, Украина, e-mail: anatysh@gmail.com;

<sup>2</sup>Черновицкий национальный университет  
имени Юрия Федьковича, ул. Коцюбинского, 2,  
Черновцы, 58012, Украина



*Захарчук Т.В.*

## **УСТРОЙСТВО ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ОБРАЗЦОВ ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО МАТЕРИАЛА ПРЯМОУГОЛЬНОЙ ФОРМЫ**

*В настоящей работе приведены методы и оборудование для механического разрезания термоэлектрического материала с применением свободного абразива и струнами с закрепленными алмазными зернами. Пробныерезы показали, что точность и наиболее щадящий режим при обработке термоэлектрического материала достигают режущим инструментом с использованием вольфрамовой проволоки диаметром 0.11 - 0.14 мм. Библ. 3, рис. 9, табл. 2.*

**Ключевые слова:** устройство для резки, инструмент для резки свободным абразивом, инструмент для резки связанным абразивом.

### **Введение**

Процесс резки термоэлектрического материала имеет свои специфические особенности, поэтому прямое использование современного серийного оборудования для резки полупроводников не всегда оправдано применительно к термоэлектрическому материалу.

Технология резки является важной частью при обработке термоэлектрических материалов, качество резки существенно влияет на результаты и параметры термоэлектрических устройств.

Цель работы – исследования в лабораторных условиях разрезание термоэлектрического материала на малогабаритном настольном станке «Алтек – 13009» для случая, когда производительность не играет большой роли и есть возможность использовать два метода разрезания термоэлектрического материала инструментом со свободным и связанным абразивом.

### **Резка свободным абразивом**

Перед началом резки заготовку необходимо прочно закрепить на неподвижном основании (рабочем столике). Наиболее распространенным способом является наклейка при помощи различных материалов, например, воска, канифоли, шеллака, глифталевой смазки.

После механической обработки разрезанные образцы отмывают от пициина с небольшим подогревом в специально подобранных растворителях.

Разрушение хрупкого термоэлектрического материала при обработке свободным абразивом заключается в следующем. Частицы абразива, в виде суспензии (карбид бора  $B_4C_3$ , карбид кремния  $SiC$ , электрокорунд  $Al_2O_3$ ), подаются в зону резки, вдавливаясь в поверхность обрабатываемого термоэлектрического материала, они вызывают образование в ней микротрещин. В процессе обработки эти микротрещины увеличиваются и распространяются вглубь от поверхности. Дальнейшая обработка приводит к созданию сети трещин, которые, смыкаясь, вызывают сколы отдельных участков термоэлектрического материала. Отколовшиеся части удаляются с поверхности исходного образца. Таким образом, происходит послойное удаление материала и осуществляется механическая обработка исходного образца. Наличие жидкости способствует процессу обработки, так как абразивный порошок находится в жидкости во взвешенном состоянии и равномерно распределяется в ней. Это, в свою очередь, дает возможность распределения абразивных зерен по всей обрабатываемой поверхности. Абразивная суспензия достаточно хорошо отводит тепло из зоны резания и специального охлаждения не требует (рис. 1).

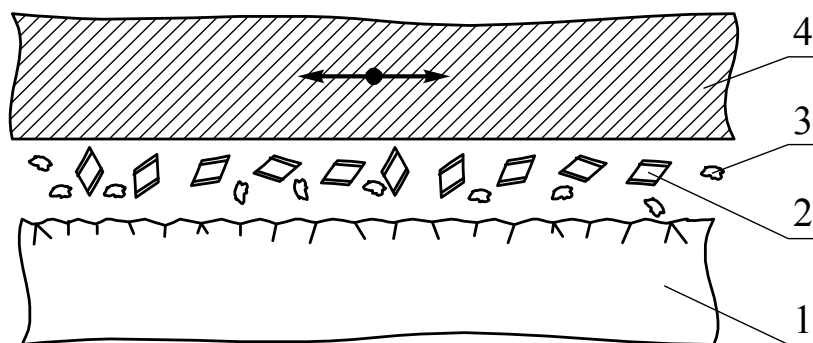


Рис. 1. Схема резки свободным абразивом.

1 – термоэлектрический материал; 2 – зёрна абразива;  
3 – отделившиеся части термоэлектрического материала; 4 – инструмент.

Сменная проволочная пила, которая является режущим инструментом, представляет собой набор вольфрамовых струн, которые наматывают на рамку с максимальным натяжением, шаг задается пазами размерных планок (рис. 2).

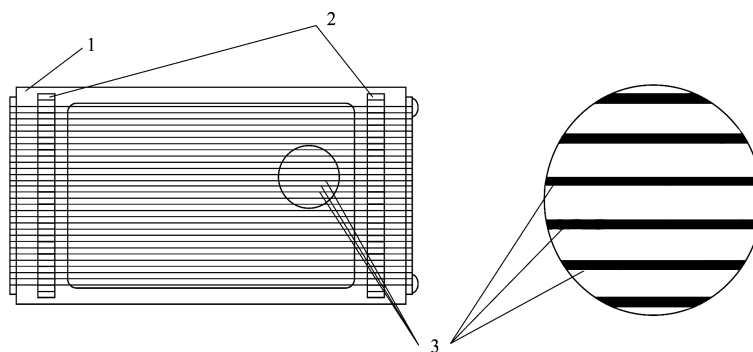


Рис. 2. Инструмент для резки струнами с использованием свободного абразива.

1 – инструмент; 2 – размерные планки; 3 – струны.

Режущий инструмент с использованием свободного абразива позволяет выполнять одновременно разрезку по всей плоскости пластины с точностью  $\pm 0.01$  мм. Но основное достоинство проволочной резки заключается в том, что при этом методе можно получить обработанные образцы с минимальными нарушениями структуры кристалла, возникающие в зоне контакта инструмента с обрабатываемыми образцами термоэлектрического материала (толщина нарушенного приповерхностного слоя  $5 \div 15$  мкм). Однако ему присущи и ограничения (высота пластин не более 0.5 мм), которые не позволяют широко и эффективно использовать его при разрезании крупных заготовок. Поэтому рассмотренный способ применяется при резке на небольшую глубину в лабораторных условиях (рис. 3).

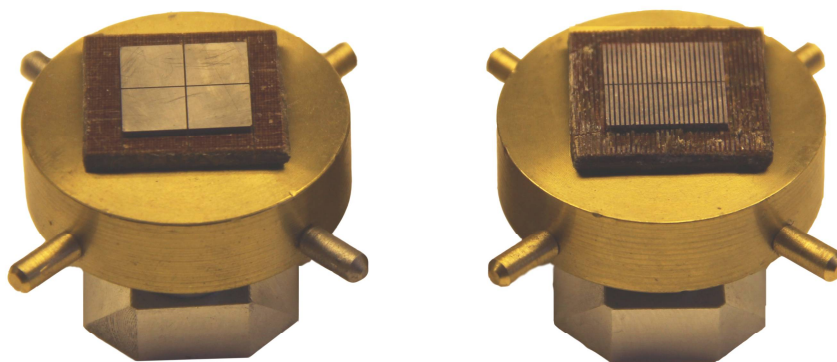


Рис. 3. Резка термоэлектрического материала свободным абразивом.

### Резка связанным абразивом

Механизм резки проволочной пилой со связанным абразивом несколько отличается от обработки свободным абразивом. При обработке связанным абразивом к разрушению под действием нормальной силы, направленной перпендикулярно поверхности (случай обработки свободным абразивом), добавляется разрушения обрабатываемой поверхности за счет срезания микро-выступов, закрепленными в режущей кромке алмазными зернами. Нормальные усилия, передаваемые от рабочей кромки через зерна алмаза на заготовку термоэлектрического материала, вызывают появление микротрещин, которые, увеличиваясь в процессе обработки, распространяются вглубь, смыкаются, образуя выколотки. Затем эти выколотки выкрошиваются и удаляются из зоны обработки. Удаление продуктов резания и охлаждение режущей кромки струн осуществляется водой или 3.5 % водным раствором, который под давлением подается в зону обработки (рис. 4).

Сменная проволочная пила для резки термоэлектрического материала изготавливается по принципу, описанному выше, но для обработки связанным абразивом на поверхность проволоки наносят гальваническим методом алмазный микропорошок АСН 40/28 и закрепляют осаждением металлов переходной группы (кобальт, никель, хром) (рис. 5).

В настоящее время способ резания связанным абразивом является наиболее перспективным и прогрессивным из всех существующих. К преимуществам относится хорошее качество обработки поверхности, точность реза составляет  $\pm 0.02$  мм.

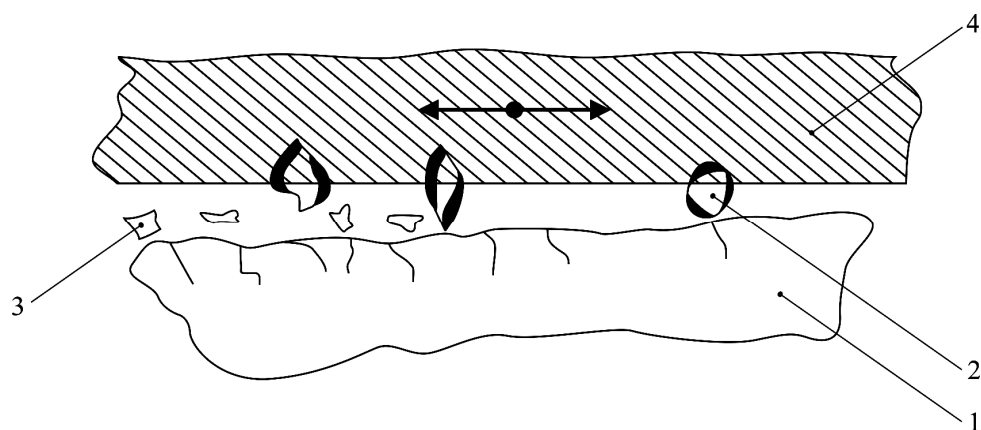


Рис. 4. Схема резки образца связанным абразивом.  
 1 – термоэлектрический материал; 2 – закрепленные зёрна абразива; 3 – отделённые части термоэлектрического материала; 4 – инструмент.

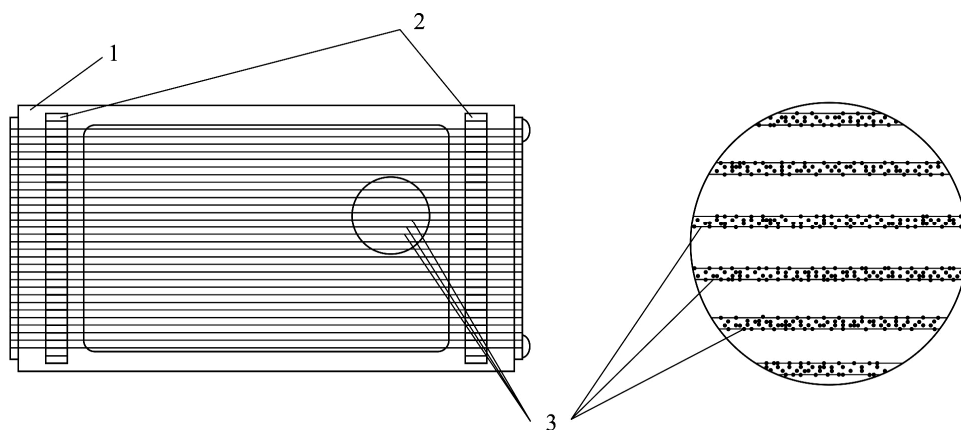


Рис. 5. Инструмент для резки струнами с закрепленными алмазными зёрнами.  
 1 – инструмент; 2 – размерные планки;  
 3 – струны с закрепленными алмазными зёрнами.

После механических операций на поверхности полупроводника остается нарушенный слой, который существенным образом влияет как на дальнейшую технологическую обработку (травление, окисление), так, в конечном счете, на параметры полупроводниковых приборов (рис. 6).

При перечисленных методах обработки (табл. 1), нарушенные приповерхностные слои обладают пониженными механическими свойствами, в результате чего прочность сцепления понижена, что снижает механическую прочность.

*Таблица 1*

Метод разрезания	Толщина нарушенного слоя, мкм
Струнная резка свободным абразивом	5 ÷ 15
Струнная резка с закреплёнными алмазными зёрнами	10 ÷ 25

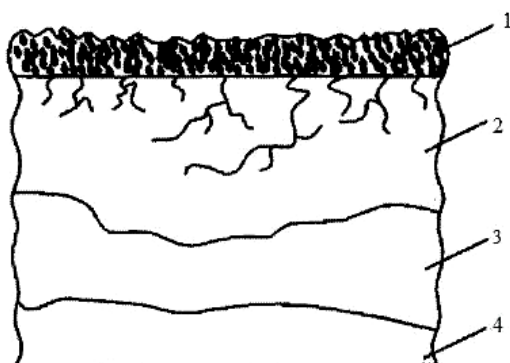


Рис. 6. Структура нарушенного при механической обработке поверхностного слоя.

1 – рельефный слой; 2 – микротрещины;  
3 – область скопления дислокаций; 4 – монокристалл.

Малогабаритный настольный станок «Алтек-13009» предназначен для получения в лабораторных условиях образцов прямоугольной формы из термоэлектрического материала. На процесс резания существенное влияние оказывает скорость подачи заготовки (сила прижатия к рабочей кромки инструмента). При малых скоростях подачи заготовки ( $0.1 \div 0.3$  мм /мин) производительность резки слишком мала. С увеличением скорости подачи ( $0.4 \div 0.6$  мм/мин) производительность повышается, а точность обработки снижается за счет прогиба струн. Отрезаемая пластина будет иметь искривленную поверхность. При малой толщине пластины это может привести к ее разлому в процессе резки. Поэтому рекомендуется более низкая скорость подачи для тонких пластин и более высокая скорость подачи для более толстых пластин, нарушение приповерхностного слоя при этом составляет 10-25 мкм (рис. 7).



Рис. 7. Резка термоэлектрического материала связанным абразивом.

Рабочим инструментом станка является рамка с параллельно расположенными на ней проволоками. Станок позволяет производить разрезание в условиях малых деформирующих воздействий. Крепление рамки на движущейся каретке выполняется двумя прижимными гайками. Этими же гайками режущие струны выставляются параллельно к направлению

движения инструмента. Подшипниковое скольжение направляющих каретки обеспечивает точность и легкость их возвратно-поступательного движения. На малогабаритном настольном станке начало и конец процесса разрезания термоэлектрического материала контролируется индикатором ИЧ-10; устройство регулировки стола позволяет регулировать в горизонтальной плоскости по осям  $X$ ,  $Y$ . Общий вид станка (рис. 8).

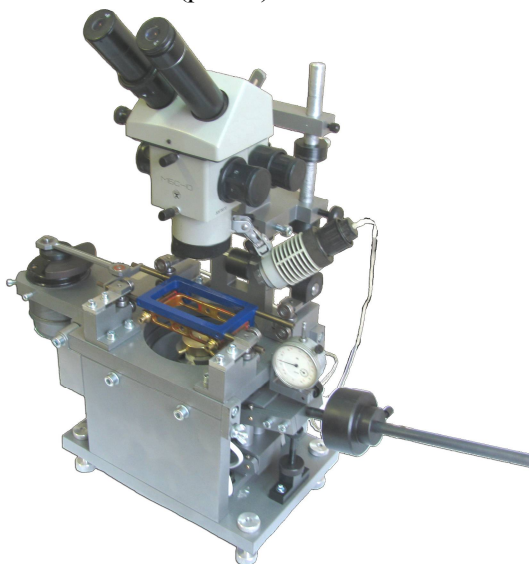


Рис. 8. Станок «Алтек – 13009».

Станок состоит из каретки с режущим инструментом 7, поступательно-возвратное движение которой осуществляется посредством шатуна 2; от электродвигателя 3 (СЛ-329 24В); узлов крепления каретки 4; механизма подъема-опускания стола 5, с противовесом регулировки давления на кромку режущего инструмента; системы регулировки глубины реза 8; индикатора 9 (ИЧ-10) для контроля глубины разрезания; приспособления подачи охлаждающей жидкости 11 (рис. 9).

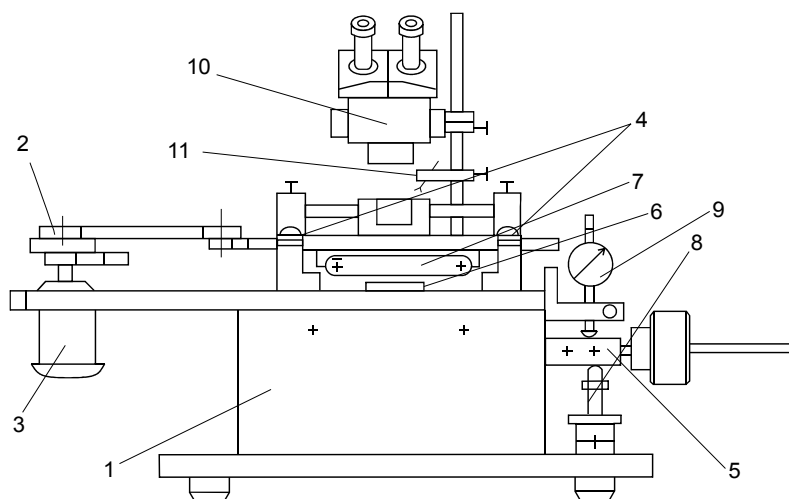


Рис. 9. Схема малогабаритного настольного станка.

- 1-станина; 2- блок привода; 3- электродвигатель СЛ-329 24В;  
 4- узел крепления каретки; 5- механизм подъёма-опускания стола;  
 6- материал; 7-режущий инструмент; 8-система регулировки и контроля глубины реза;  
 9-индикатор ИЧ-10; 10- микроскоп МБС-10; 11- подача охлаждающей жидкости.

Основные технические данные и характеристики приведены в табл. 2.

Таблица 2

№п/п	Характеристики	
1	Максимальные размеры заготовки для разрезания, мм	40 × 40 × 15
2	Число струн Ø 0.14 на рамке, минимальное, шт.	1
3	Число струн Ø 0.14 на рамке, максимальное, шт.	95
4	Ширина реза с алмазным покрытием, мм	0.22
5	Ширина реза со свободным абразивом, мм	0.15
6	Вес, кг, не более	30
7	Потребляемая электрическая мощность, Вт	60
8	Блок питания, CODEGEN 300W, шт	1
9	Габариты, мм	340 × 690 × 630

### Выводы

1. Малогабаритный настольный станок экономичен по потреблению электроэнергии (60 Вт), не требует больших материальных затрат. Нарушение приповерхностного слоя при использовании свободного абразива составляет (5-15 мкм), а со связанным абразивом (10-25 мкм).
2. Станок для резки «Алтек-13009» удобен в эксплуатации для проведения исследовательской работы в лабораторных условиях.

### Литература

1. Готра З.Ю. Справочник по технологии микроэлектронных устройств. – Львов: Каменяр, 1986.–287 с.
2. Сатыго А.В., Запаров С.Ф. О влиянии различных методов резания  $Bi_2Te_3$  на свойства термоэлектрических модулей охлаждения // Термоэлектричество. – 2002. – №4.– С. 57–60.
3. Малогабаритный настольный станок для резки термоэлектрических материалов «Алтек – 13009». Рекламный проспект.

Поступила в редакцию 20.11.2018.

**S.F. Zaparov, T.V. Zakharchuk**

<sup>1</sup>Institute of Thermoelectricity of the NAS and MES of Ukraine,  
1, Nauky str., Chernivtsi, 58029, Ukraine,  
*e-mail: anatysh@gmail.com;*

<sup>2</sup>Yuriy Fedkovich Chernivtsi National University,  
2, Kotsiubynsky str., Chernivtsi, 58012, Ukraine

## DEVICE FOR PRODUCING RECTANGULAR SAMPLES OF THERMOELECTRIC MATERIAL

*This paper presents methods and equipment for mechanical cutting of thermoelectric material with the use of free abrasive and by the wires with fixed diamond grains. Trial cuts have shown that the accuracy and most sparing mode of thermoelectric material processing is achieved by cutting tool with the use of tungsten wire of diameter 0.11- 0.14 mm. Bibl. 3, Fig. 9, Table. 2.*

**Key words:** cutting device, free abrasive cutting tool, bound abrasive cutting tool

### References

1. Gotra Z.Yu. Spravochnik po tehnologii mikroelektronnyih ustroystv. – Lvov: Kamenyar. – 1986.–287c [in Russian].
2. Satigo A.V., Zaporov S.F.( 2002) On the effect of various  $Bi_2Te_3$  cutting methods on the properties of thermoelectric cooling modules. // J. Thermoelectricity, 4, P. 57-60.
3. Malogabaritnyiy nastolnyiy stanok dlya rezki termoelektricheskikh materialov «Altek – 13009». Reklamnyiy prospekt [in Russian].

Submitted 20.11.2018.