

УДК 961.762

## ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА САМОРАСПРОСТРАНЯЮЩЕГОСЯ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО СИНТЕЗА ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ПОРИСТЫХ ВАКУУМНЫХ ВСТАВОК ПЛАНШАЙБ ОБОРУДОВАНИЯ ЭЛЕКТРОННОГО МАШИНОСТРОЕНИЯ

М.В. ТУМИЛОВИЧ<sup>1</sup>, Л.П. ПИЛИНЕВИЧ<sup>1</sup>, А.М. ТАРАЙКОВИЧ<sup>2</sup>,  
В.Е. ТОЛСТИК<sup>2</sup>, Г.А. ШЕКО<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Белорусский Государственный университет информатики и радиоэлектроники,  
Республика Беларусь

<sup>2</sup>ГНУ «Институт порошковой металлургии», Республика Беларусь

Поступила в редакцию 21 декабря 2016

**Аннотация.** Приведены результаты исследования процесса получения методом самораспространяющегося высокотемпературного синтеза пористых вакуумных вставок планшайб, используемых при производстве полупроводниковых кремниевых пластин на предприятиях электронного машиностроения.

**Ключевые слова:** полупроводниковые кремниевые пластины, порошковая металлургия, самораспространяющийся высокотемпературный синтез, оксинитрид титана.

**Abstract.** There are given the results of research the process of receiving by method of self-extending high-temperature synthesis of porous vacuum inserts of the faceplates used by production of semiconductor silicon plates at the enterprises of electronic mechanical engineering.

**Keywords:** semiconductor silicon plates, powder metallurgy, self-extending high-temperature synthesis, oxynitride of the titan.

**Doklady BGUIR. 2017, Vol. 104, No. 2, pp. 5–10**

**Application of the method of self-extending high-temperature synthesis for receiving porous vacuum inserts of faceplates of electronic mechanical engineering equipment**

**M.V. Tumilovich, L.P. Pilinivich, A.M. Taraykovich, V.E. Tolstik, G.A. Sheko**

### Введение

В настоящее время интенсивно ведутся работы по повышению эффективности использования и усовершенствованию действующего оборудования современного электронного машиностроения, а также по созданию нового оборудования для новых видов производств, облегчения и повышения производительности труда в уже освоенных видах производств. Современная электроника развивается в направлении миниатюризации изделий, повышения их надежности, долговечности, что постоянно повышает требования к точности изготовления деталей и к качеству обработки их поверхностей. Это связано с постоянно возрастающим распространением электронных карт и чипов памяти для смартфонов, планшетов и других мобильных устройств, применяющих полупроводниковые кремниевые пластины толщиной в 100 мкм и менее. Этот высокий спрос, в свою очередь, ставит задачи по улучшению уровня качества обработки тонких кремниевых пластин, применяемых для формирования изделий микроэлектроники, которого можно добиться за счет надежного удерживания пластин при шлифовании на вакуумных присосках планшайб предметных столов.

В Республике Беларусь вакуумные присоски планшайб предметных столов используются на оборудовании, выпускаемом УП «КБТМ-СО» ГНПО «Планар». Конструктивно они выполнены из листовой стали в виде чередующихся вакуумных канавок сечением до 1 мм и шагом до 2 мм. В этом случае кристаллы с небольшими размерами, оказавшиеся над канавкой, могут срываться при разделении пластин на технологической операции дисковой резки. При уменьшении толщины полупроводниковых пластин до 100 мкм и менее важно надежно удерживать пластину по всей площади во время шлифования, а с другой стороны, необходимо обеспечить легкий съем этих пластин с поверхности вакуумной присоски без повреждения. При прецизионной планеризации такой вакуумной присоски необходимо обеспечить степень неплоскостности в пределах до 5 мкм, чего, в свою очередь, можно достичь при шероховатости поверхности Rz не хуже 0,1 мкм. Однако такая поверхность имеет склонность к прилипанию к кремниевым пластинам при их мокром шлифовании, что иногда при отрыве пластин роботом-манипулятором от поверхности планшайбы после окончания шлифования приводит к их повреждению.

В связи с этим разработка процесса получения и освоение производства пористых вакуумных присосок, лишенных вышеназванных недостатков, является важной и актуальной задачей, решение которой позволит уменьшить склонность кремниевых пластин к прилипанию, обеспечить их более легкий съем после окончания процесса шлифования роботом-манипулятором при снижении вероятности повреждения пластин и увеличении процента выхода годных до 98,5–99 %.

#### **Разработка процесса получения пористых вставок планшайб методом самораспространяющегося высокотемпературного синтеза**

Пористые порошковые материалы (ППМ), изготавливаемые традиционными методами порошковой металлургии, в настоящее время известны и широко применяются для получения изделий самого различного назначения. Однако традиционные технологии получения ППМ имеют ряд недостатков, значительно усложняющих технологический процесс и повышающих стоимость изделий (многостадийность, высокая трудо- и энергоемкость). Проведенный анализ научно-технической литературы показал, что пористые вакуумные вставки должны обладать следующими свойствами: пористость 30–40 %; размер пор 30–70 мкм; коэффициент проницаемости –  $(50-80) \times 10^{13} \text{ м}^2$ ; твердость 400–1400 HV100/15. Достижение указанного уровня твердости, используя доступные по цене металлические порошки, невозможно. Вместе с тем, наиболее полно указанным требованиям к пористым вставкам отвечают ППМ, полученные в режиме фильтрационного горения порошка титана методом самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС) в кислородосодержащей среде с образованием фазы оксинитрида титана. Поэтому именно данный материал выбран в качестве основы для получения пористых вставок вакуумных планшайб.

Самораспространяющийся высокотемпературный синтез является разновидностью процесса фильтрационного горения газов – относительно нового раздела науки о горении, изучающей горение газовых смесей в условиях фильтрации (теплого и гидродинамического взаимодействия с твердой фазой, в частности, пористой средой) и охватывающей экзотермические процессы, проходящие в многофазных системах в условиях фильтрации [1–3] и основан на экзотермической реакции металлического ППМ с газами ( $\text{N}_2$ ,  $\text{O}_2$ ). Применительно к порошковой металлургии достоинством метода является возможность совмещения операции получения тугоплавкого соединения и спекания. При СВС обычно заготовка из формованной смеси порошков исходных элементов поджигается с одного торца импульсом электрического тока, в результате чего инициируется химическая реакция и возникает волна горения, которая затем без внешнего воздействия распространяется вдоль образца. Теплота реакции при этом расходуется на нагревание смеси и спекание образующегося материала. СВС ППМ на воздухе или азоте включает в себя: транспорт газа посредством двухсторонней фильтрации в зону синтеза и химическое взаимодействие реагентов, сопровождающееся выделением тепла, величина и скорость которого возрастают с ростом избыточного давления воздуха или азота [4].

Характерная особенность процессов сжигания с использованием газообразных реагентов – относительно высокая теплота образования соединения, что объясняется более

высокой энергией поступательного движения атомов или молекул в газовой фазе. В отличие от реакций в твердой фазе, требующих для своего протекания «вырывания» молекул из кристаллической решетки, на газофазные реакции межмолекулярные связи не влияют, что значительно изменяет весь характер реакции [5].

На первом этапе для проведения оптимизации структурных характеристик пористого материала вакуумных вставок использовали порошок титана марки ТПП-5 со следующим размером частиц:  $(-0,63+0,4)$ ,  $(-1,0+0,63)$  и  $(-1,6+1,0)$  мм. Давление прессования составляло от 20 до 120 МПа. Для повышения статистической достоверности результатов исследований каждый образец изготавливали с тройным дублем. Все заготовки подвергались термообработке в электропечи. На изготовленных образцах проведены исследования пористости, средних размеров пор, коэффициента проницаемости. Для сравнения структурных характеристик использовался параметр эффективности  $E_1$ , характеризующий соотношение размеров пор и проницаемости:

$$E_1 = \frac{\sqrt{K}}{d_{cp}}, \quad (1)$$

где  $K$  – коэффициент проницаемости,  $m^2$ ;  $d_{cp}$  – средний размер пор, м.

На рис. 1 приведены зависимости исследуемых параметров от давления прессования и размера частиц порошка.

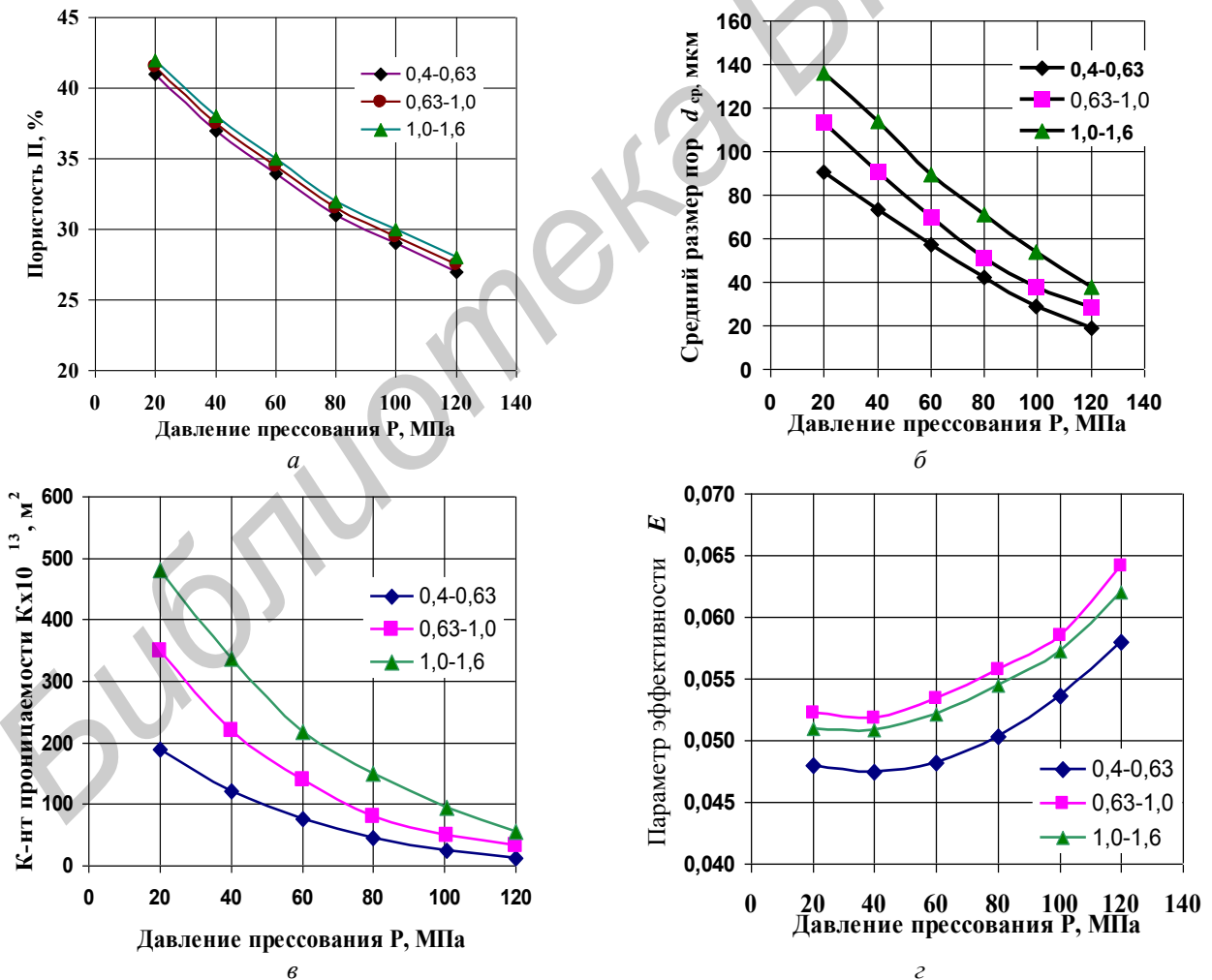


Рис. 1. Влияние давления прессования на пористость (а), средний размер пор (б), коэффициент проницаемости (в) и параметр эффективности  $E_1$  (г)

На втором этапе были проведены экспериментальные исследования процесса получения ППМ методом СВС. Они показали, что варьируя содержанием азота в атмосфере и

температурой реакции СВС можно регулировать процесс получения твердого нитрида титана (оксинитрида титана) с требуемым комплексом физико-химических и механических свойств. Установлены оптимальные технологические режимы получения ППМ, обеспечивающие средний размер пор ППМ 30 мкм и максимальный не более 70 мкм (порошок титана марки ТПП-5, размер частиц 0,65–0,1 мм, давление прессования 100–110 МПа), а также режимы СВС, являющиеся «ноу-хау» разработчиков.

Исследования свойств ППМ, полученного методом СВС при оптимальных режимах показали, что коэффициент проницаемости по воздуху составляет  $(50-80) \times 10^{-13} \text{ м}^2$ , микротвердость зерна – 4,97 ГПа. Рентгенофазовый анализ, проведенный на рентгеновском дифрактометре «Дрон-3,0» в  $\text{CuK}\alpha$ -излучении показал, что на наружной поверхности содержание оксидов и нитридов титана составляет 100 %, в то время, как в глубине образцов имеются также фаза титана и примеси (рис. 2–5).

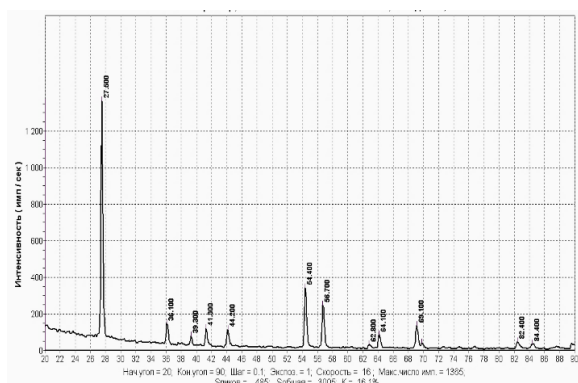


Рис. 2. Рентгенограмма поверхности образца



Рис. 3. Сравнение рентгенограмм поверхности исследуемого образца и эталонных карточек: а – рентгенограмма образца; б – эталонные карточки  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Ti}_2\text{N}$

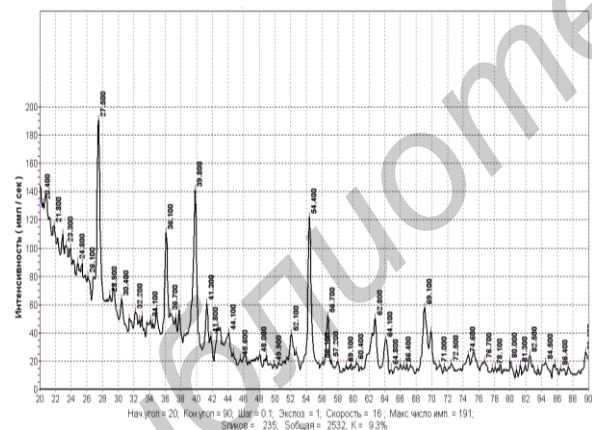


Рис. 4. Рентгенограмма в глубине образца

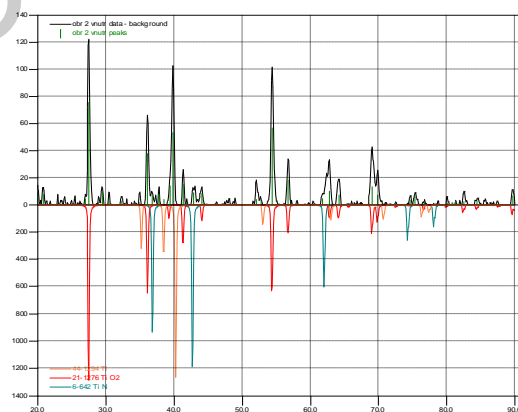


Рис. 5. Сравнение рентгенограмм в глубине исследуемого образца и эталонных карточек: а – рентгенограмма образца; б – эталонные карточки  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Ti}_2\text{N}$

Результаты рентгенофазового анализа образцов пористых вставок сведены в таблицу.

#### Результаты рентгенофазового анализа образцов пористых вставок

Сторона образца	Фазовый состав, %		
	Фаза $\text{TiO}_2$	Фаза $\text{TiN}$	Фаза $\text{Ti}$ + примеси
наружная	100	–	–
внутренняя	50	40	10

Внешний вид поверхности пористых вставок из оксинитрида титана показан на рис. 6.

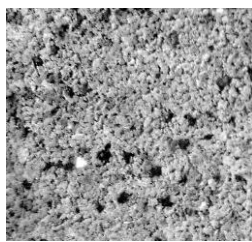


Рис. 6. Внешний вид поверхности пористых вставок из оксинитрида титана

Экономические расчеты проведенные на ГНПО «Планар» показали, что в результате применения разработанных пористых вставок будет обеспечено увеличение производительности процесса шлифования пластин на 10 % и снижение себестоимости готовой продукции (пластин) на 5 %. Внедрение разработанных пористых вакуумных вставок планшайб при шлифовании на одном предметном столе 6000 шт. пластин в год (при средней стоимости 100 \$ США за одну пластину) позволит обеспечить экономический эффект на 30 предметных столах, используемых в настоящее время на ГНПО «Планар» и УП «КБТЭМ-СО», в размере 90000 \$ США в год.

### Заключение

На основании проведенных теоретических и экспериментальных исследований разработана технология получения ППМ на основе оксинитрида титана методом самораспространяющегося высокотемпературного синтеза для использования в пористых вставках вакуумных планшайб оборудования электронного машиностроения.

Проведены исследования структурных и физико-механических характеристик пористого материала вакуумных вставок, выбраны оптимальный гранулометрический состав порошка и технологические режимы изготовления пористых вставок из оксинитрида титана, обеспечивающие оптимальное сочетание эксплуатационных характеристик, увеличение процента выхода годных до 98,5–99 %, производительности процесса шлифования пластин на 10 % при снижении себестоимости готовой продукции (кремниевых пластин) на 5 %.

### Список литературы

1. Доброго К.В., Жданок С.А. Физика фильтрационного горения газов. Минск: ИТМО НАН Беларуси, 2002. 203 с.
2. Hanamura K., Echigo R., Zhdanok S. Superadiabatic combustion in a porous medium // *Int. J. Heat Mass Transfer*. 1993. Vol. 36. № 13. P. 3201–3209.
3. Kaviani M. Principles of heat transfer in porous media. Springer-Verlag, 1995. P 709.
4. Merzhanov A.G. Self-Propagating High-Temperature Synthesis: Twenty Years of Search and Findings // *Proc. Combustion and Plasma Synthesis of High-Temperature Materials*. VCH Publishers, 1990. P. 1–53.
5. Такакура Т. Процессы получения функционально-градиентных материалов типа  $TiB_2-Ni$  // Сборник Осакаского университета по обработке материалов. 1990. С. 234–236.

### References

1. Dobrego K.V., Zhdanok S.A. Fizika fil'tracionnogo gorenija gazov. Minsk: ITMO NAN Belarusi, 2002. 203 s. (in Russ.)
2. Hanamura K., Echigo R., Zhdanok S. Superadiabatic combustion in a porous medium // *Int. J. Heat Mass Transfer*. 1993. Vol. 36. № 13. P. 3201–3209.
3. Kaviani M. Principles of heat transfer in porous media. Springer-Verlag, 1995. P 709.
4. Merzhanov A.G. Self-Propagating High-Temperature Synthesis: Twenty Years of Search and Findings // *Proc. Combustion and Plasma Synthesis of High-Temperature Materials*. VCH Publishers, 1990. P. 1–53.
5. Takakura T. Processy poluchenija funkcional'no-gradientnyh materialov tipa  $TiB_2-Ni$  // *Sbornik Oasakskogo universiteta po obrabotke materialov*. 1990. S. 234–236. (in Russ.)

#### **Сведения об авторах**

Тумилович М.В., д.т.н., доцент, начальник управления подготовки научных кадров высшей квалификации Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники.

Пилиневич Л.П., д.т.н., профессор, профессор кафедры инженерной психологии и эргономики Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники.

Тарайкович А.М., заведующий лабораторией процессов и оборудования фильтрации и сепарации ГНУ «Институт порошковой металлургии».

Толстик В.Е., м.н.с. ГНУ «Институт порошковой металлургии».

Шеко Г.А., с.н.с. ГНУ «Институт порошковой металлургии».

#### **Адрес для корреспонденции**

220013, Республика Беларусь,  
г. Минск, ул. П. Бровки, д. 6,  
Белорусский государственный университет  
информатики и радиоэлектроники  
тел. +375-17-293-88-83;  
e-mail: tumilovich@bsuir.by  
Тумилович Мирослав Викторович

#### **Information about the authors**

M.V. Tumilovich, D. Sci., associate professor, head of department of the highest qualification scientific personnel training of Belarusian state university of informatics and radioelectronics.

L.P. Pilinivich, D. Sci., professor, professor of engineering psychology and ergonomics department of Belarusian state university of informatics and radioelectronics.

A.M. Taraykovich, head of the laboratory of processes and equipment for filtration and separation of SSI «Institute of powder metallurgy».

V.E. Tolstik, junior researcher of SSI «Institute of powder metallurgy».

G.A. Sheko, senior researcher of SSI «Institute of powder metallurgy».

#### **Address for correspondence**

220013, Republic of Belarus,  
Minsk, P. Brovka st., 6,  
Belarusian state university of informatics and  
radioelectronics  
tel. +375-17-293-88-83;  
e-mail: tumilovich@bsuir.by  
Tumilovich Miroslav Viktorovich