

УДК 621.382

**А.С. Калиниченко<sup>1</sup>, В.Л. Басинюк<sup>2</sup>, И.Д. Тычинская<sup>2</sup>,  
А.Е. Ковенский<sup>3</sup>, Т.Л. Карпович<sup>1</sup>, И.В. Карпова<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Белорусский государственный технологический университет

<sup>2</sup>Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси

<sup>3</sup>ОАО «Планар»

Минск, Беларусь

## **НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ ОБРАБОТКИ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ**

*Аннотация.* В работе приводятся результаты исследований по применению лезвийной обработки твердых материалов с применением резцов из кубического нитрида бора. Также проведены основы методических подходов к созданию адаптивной системы управления приводными системами прецизионного оборудования для микроэлектроники.

**A.S. Kalinichenko<sup>1</sup>, V.L. Basinyuk<sup>2</sup>, I.D. Tychinskaya<sup>2</sup>,  
A.E. Kovensky<sup>3</sup>, T.L. Karpovich<sup>1</sup>, I.V. Karpova<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Belarusian State Technological University

<sup>2</sup>Joint Institute of Mechanical Engineering of NAS of Belarus

<sup>3</sup>JSC “Planar”

Minsk, Belarus

## **SOME FEATURES OF SEMICONDUCTOR MATERIALS PROCESSING**

*Abstract.* The paper presents the results of research on the use of blade processing of solid materials using cutters made of cubic boron nitride. The basics of methodological approaches to the creation of an adaptive control system for drive systems of precision equipment for microelectronics are also carried out.

Качество поверхности изделий во многом определяют износостойкость пар трения. Примерами изделий, к которым предъявляются высокие требования по шероховатости служат многие изделия медицинского назначения, поверхности зубчатых передач, материалы для приборостроения и др. В работе приведены некоторые результаты по обработке твердых материалов (пироуглерод, сапфир), а также полупроводниковых материалов (кремний).

Проблема обработки поверхности прочных, но хрупких материалов связана с необходимостью применения черновой обработки алмазным инструментом и последующей полировки при традиционной обработке. Поскольку этот процесс достаточно трудоемкий, длительный и трудоемкий, то важной задачей является

разработка более производительных и дешевых способов обработки сверхтвердых материалов.

Анализ показал, что перспективным материалом для изготовления инструмента для обработки твердых неметаллических материалов являются синтетические поликристаллические материалы на основе нитрида бора – СПНБ. Поликристаллы на основе кубической модификации нитрида бора (КНБ) типа *эльбор-Р* имеют мелкозернистую структуру, в которой доминирующей фазой являются мелкие зерна КНБ с образованием прочного агрегата. Наряду с основной кубической модификацией *b-BN* в них возможно частичное содержание непрореагировавшего гексагонального нитрида бора *a-BN*.

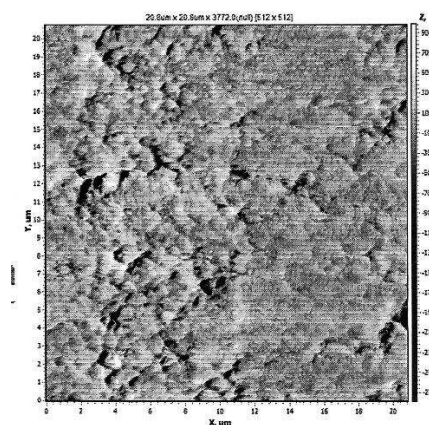
При разработке режимов обработки пироуглерода (углеситала) с использованием современных модификаций КНБ необходимо было учитывать, что этот материал чувствителен к дефектам на поверхности. Эти дефекты связаны как со структурой материала (особенно с пористостью), так и способом обработки. Кроме того, в пироуглероде наблюдаются включения с размерами более 0,1 мкм [1].

Эксперименты показали, что скоростная лезвийная обработка резцом из КНБ позволяет обеспечить шероховатость поверхности  $R_a$  порядка 0,1 мкм. Что важно подчеркнуть, что при скоростной лезвийной обработке пластины резцом из КНБ не наблюдалось изменение химического состава обрабатываемого материала, а также отсутствует диффузионное взаимодействие материалов резца и заготовки.

На рис. 1 приведены обработанные изделия из пироуглерода и топография его поверхности после предварительной скоростной лезвийной обработки с использованием КНБ.



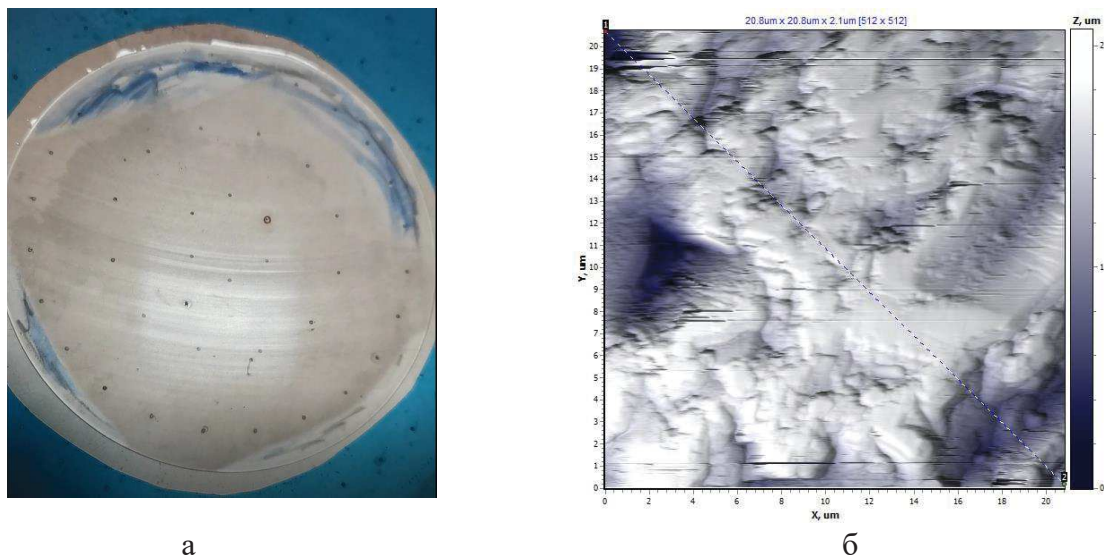
а



б

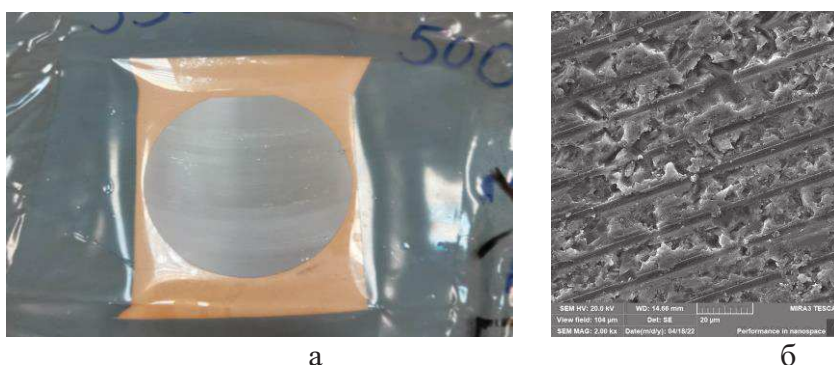
**Рис. 1 – Поверхность изделия из пироуглерода (а) и его топография (б) после лезвийной обработки резцом из КНБ**

Хорошие результаты были получены и при обработке такого твердого материала, как сапфир (рис. 2), что подтверждает перспективность применения кубического нитрида бора в качестве инструмента для обработки очень твердых материалов.



**Рис. 2 – Поверхность сапфира после обработки резцом из КНБ(а) и топография его поверхности (б).**

Анализ обработки поверхности кремния после лезвийной обработки кремния показал, что можно обеспечить предварительную требуемую шероховатость пластины. Однако, на поверхности видны следы резца и наблюдаются сколы глубиной 100 нм (рис. 3). Эти поверхностные дефекты могут быть легко устранены последующим прецизионным полированием.



**Рис. 3 – Поверхность кремния после обработки резцом из КНБ(а) и топография его поверхности (б) ( $\times 650$ ).**

Однако, результаты обработки показывают, что необходима дальнейшая оптимизация параметров обработки для повышения качества черновой обработки с применением резцов из КНБ. Тем не

менее, проведенные исследования позволили подтвердить, что использование КНБ в качестве режущего материала позволяет осуществить скоростную лезвийную обработку пластин из твердых материалов с заданным качеством поверхности.

Важной задачей минимизации размеров микросхем является необходимость уменьшения ширины реза при разделении полупроводниковых пластин на кристаллы алмазным режущим диском. Это способствует минимизации, прилегающей к зоне реза, дефектной зоны. Как результат, увеличивается число вырезаемых кристаллов на пластине и выход годной продукции.

При современном уровне требований к микронной точности, в особенности в микроэлектронике, решение этих проблем зачатую не может быть обеспечено без мониторинга механических колебаний и их учета в системах адаптивного управления приводами оборудования

В работе была выполнена разработка методических подходов к созданию адаптивной системы управления приводными системами прецизионного оборудования для разделения полупроводниковых пластин на кристаллы.

В прецизионном оборудовании для разделения полупроводниковых пластин на кристаллы для реализации этого процесса используется два основных программно-управляемых привода:

- привод рабочей подачи стола с зубчато-ременной передачей, обеспечивающий рабочую подачу до 200 мм/с;
- высокоскоростной прецизионный электрошпиндель с аэростатическими опорами, имеющий частоты вращения до 60000 об/мин.

При разгоне, рабочем ходе и торможении стола, на котором размещается разделяемая на кристаллы полупроводниковая пластина, возникают механические колебания с собственной частотой как в направлении подачи, так и в определенный момент – перпендикулярно ей в горизонтальной плоскости. При установившемся вращении электрошпинделя возникают вынужденные радиальные и осевые колебания вала с консольно установленным на оправке алмазным режущим диском. Вследствие проявления механических колебаний увеличивается ширина прорезаемого паза, а также прилегающей к нему дефектной зоны. Как результат, снижается стойкость алмазного режущего диска вследствие возникновения повышенного пульсирующего давления на боковые поверхности режущей кромки. В ряде случаев могут возникать поломки алмазного режущего диска.

В основу методического подхода к созданию адаптивной системы управления режимами функционирования приводными системами

прецизионного оборудования для разделения полупроводниковых пластин на кристаллы было положено предположение о том, что может быть установлена взаимосвязь между параметрами механических колебаний, включая колебания с собственными частотами и вынужденных колебаний, с шириной прорезаемого в полупроводниковой пластине паза и прилегающей к нему дефектной зоны, а также режимами функционирования приводов рабочего стола и высокоскоростного прецизионного электрошпинделя. На основе установления этих связей возможно определить и обеспечить посредством адаптивной системы мониторинга колебаний и автоматизированного управления оптимальные режимы функционирования.

Анализ осциллограмм показал, что параметры осевых и радиальных механических колебаний вала электрошпинделя и ширина прорезаемого паза, а также прилегающей к нему дефектной зоны взаимосвязаны. При определенном уровне этих колебаний ширина дефектной зоны, достигающая ~45% ширины реза, может быть уменьшена путем подбора и адаптивного управления частотой вращения электрошпинделя в ~1,3 раза с соответствующим увеличением числа кристаллов на полупроводниковой пластине.

Например, при величине вырезаемых кристаллов ~1x1 мм и диаметре полупроводниковой пластины  $\varnothing 200$  мм число размещаемых на ней кристаллов может быть увеличено практически на 25% за счет уменьшения дефектной зоны.

*Работа выполнена при поддержке Министерства образования Республики Беларусь в рамках задания 1.02 подпрограммы «Механика» ГПНИ «Механика, металлургия, диагностика в машиностроении».*

### **Список использованных источников**

1. Курис, И.М. Алмазная обработка углеситалла // И. М. Курис, А. А. Лобай, Н. В. Плешивцев, В. А. Сидоренко. М.ИЭИ, 1981. – 12 с.
2. Папина С. С., Басинюк В. Л. Комбинированные приводы координатных систем для прецизионного разделения полупроводниковых пластин на кристаллы. – Объединенный ин-т машиностроения Нац. акад. наук Беларуси. – Минск: РИПО, 2016. – 118 с.