

Разделение кристаллических пластин методом скрайбирования

Гурова Юлия Владимировна

Физический факультет, кафедра физики твёрдого тела, Пермский Государственный Национальный Исследовательский Университет, Пермь, Россия.

Аннотация.

Данная работа посвящена проблеме разделения монокристаллических пластин на производстве фотонных интегральных схем и экспериментальному поиску ее решения.

Актуальность работы объясняется её практической применимостью, связанной с массовым выпуском полупроводниковых подложек для различных приборов.

Целью данной работы является исследование возможности применения контролируемых методов скрайбирования и разделения полупроводниковых подложек на установке Scribe S100-4, позволяющей делать риски различных размеров, по которым производится дальнейший разлом. А также оценка качества граней полученных кристаллов.

Для достижения поставленной цели используются следующие теоретические методы исследования - это, в первую очередь, метод анализ и синтез, а также методы сравнения, систематизации и компьютерного моделирования.

Степень разработанности проблемы исследования, проводимого в рамках данного проекта определяется следующими обстоятельствами. Несмотря на то, что деликатность разделения чипов является важнейшим фактором при производстве микросхем, до сегодняшнего дня в отечественных научных исследованиях почти не затрагиваются конкретные вопросы решения проблемы качества граней кристалла после разделения.

В работе было проведено сравнение основных характеристик различных методов разделения полупроводниковых пластин, которое показало, что именно механическое скрайбирование пластин является наиболее оптимальным. Преимущества механического скрайбирования относительно других методов:

- малая глубина реза, повреждаются только поверхностные слои
- высокая оценка качества граней
- минимальное загрязнение поверхности пластины
- выход годных схем после разделения достигает 99 %.

Полученные результаты:

- Разделение пластин кремния по линии скрайба не является актуальным способом для данного материала

- Скрайбирование образцов кремния путем нанесения скрайба по всей длине образца показало удовлетворительные результаты
- Скрайбирование образцов фосфида индия показало удовлетворительные результаты

Причинами различного поведения образцов кремния и фосфида индия при использовании похожих методик разделения являются разнотолщинность материалов, степень шероховатости и качества обработки, а также их природа спайности.

Ключевые слова: скрайбирование, монокристалл, полупроводник, спайность, разрезание, разлом, разделение пластин, лазер, скрайб, метод, качество граней.

Введение

Актуальность работы связана с массовостью выпуска полупроводниковых подложек для различных приборов, в производстве которых очень высока цена ошибки как по материальным, так и по временным затратам. А разделение по технологии скрайбирования с последующим разломом избавляет от необходимости последующей обработки, что влечет за собой значительное сокращение количества операций. Меньше операций – меньше вероятность испортить продукт, и конечно при меньшем количестве операций тратится меньше времени.

Целью данной работы является исследование возможности применения контролируемых методов скрайбирования и разделения полупроводниковых подложек на установке Scribe S100-4, позволяющей делать риски различных размеров, по которым производится дальнейший разлом. А также оценка качества граней полученных кристаллов.

Объектом настоящего исследования является процесс скрайбирования полупроводниковых пластин кремния и фосфида индия.

Для достижения цели работы поставлены следующие задачи:

- Подобрать оптимальную силу давления алмазного наконечника на образец;
- Определить длину риски для каждого исследуемого материала;
- Определить угол наклона скрайбирующего элемента
- Выявить возможные факторы, влияющие на качество граней кристалла после разлома.

Научная или практическая значимость выполненного проекта: технология разделения монокристаллических пластин, осуществляемая с помощью установки Scribe S100-4 и описанная в работе, имеет большую практическую ценность. С её помощью процесс производства фотонных интегральных микросхем на предприятиях значительно упрощается, продукт на выходе

становится более качественным, а время, потраченное на обработку, заметно уменьшается. Полное освоение данной технологии позволяет создавать конкурентоспособные международные и региональные поставки, снижать долю затрат на брак в цене продукции.

Заметный вклад в исследование обработки монокристаллических пластин внесли работы Черняева В.Н. В частности, в трудах данного автора также рассматривается проблема правильного разделения подложек и выявление закономерности поведения кристаллов при разном способе обработки. Особое внимание этой важной проблеме уделил в своих работах П. Башта, он детально изучил особенности лазерной резки и скрайбирования монокристаллов.

В целом же необходимо указать на то, что, несмотря на многочисленные исследования, посвященные вопросам разделения монокристаллических пластин, в настоящее время опубликовано крайне малое число научных работ, посвященных проблемам результативного скрайбирования и рассмотрению особенностей данного процесса. Таким образом, назрела необходимость научного осмысления и применения контролируемых методов скрайбирования для разделения полупроводниковых подложек, а также перспектив их дальнейшего развития.

Изучение теоретико-методологической базы позволило сформировать следующую позицию автора: в условиях предприятий с массовым выпуском интегральных и фотонных интегральных схем, а также в условиях конкуренции за лояльного и постоянного клиента, для которого важно качество продукта, применение в производстве оборудования с возможностью скрайбирования полупроводниковых подложек, является одним из главных конкурентоспособных преимуществ компании.

Научная и/или практическая значимость выполненного проекта: Технология разделения монокристаллических пластин, осуществляемая с помощью установки Scribe S100-4 и описанная на страницах данного дипломного проекта, имеет большую практическую ценность.

С её помощью процесс производства фотонных интегральных микросхем на предприятиях значительно упрощается, продукт на выходе становится более качественным, а время, потраченное на обработку, заметно уменьшается. Полное освоение данной технологии позволяет создавать конкурентоспособные международные и региональные поставки, а также снижать долю затрат на брак в цене продукции. Для достижения высоких результатов деятельности организации необходимо совершенствовать все этапы производства продукта.

Разделение полупроводниковых пластин на отдельные чипы – одна из последних операций в технологическом процессе их производства – значительно влияет на процент выхода годных схем, так как применяемые полупроводниковые материалы хрупкие и очень чувствительны к механическим воздействиям. Это приводит к тому, что после выполнения данной операции возникают дефекты продукта. Таким образом, требования к операции разделения

пластин формируются в соответствии с требованиями, предъявленными к кристаллу: сохранение кромки кристаллов фотонных схем для последующей стыковки с оптическим волокном.

Основными из них являются:

- высокий процент выхода годных кристаллов;
- точность соблюдения геометрических параметров кристаллов;
- низкий уровень сколов по краям кристаллов.

В работе было проведено сравнение основных характеристик различных методов разделения полупроводниковых пластин, которое показало, что именно механическое скрайбирование пластин является наиболее оптимальным. Преимуществами механического скрайбирования относительно других методов являются:

- малая глубина реза, то есть повреждаются только поверхностные слои
- высокая оценка качества граней
- минимальное загрязнение поверхности пластины
- выход годных схем после разделения достигает 99 %.

У выбранного способа разделения полупроводниковых пластин на кристаллы технологические отходы материала пластины при разделении близки к нулю.

Состоит он в нанесении на поверхность пластины алмазным лезвийным инструментом риска (риска – направляющий вектор) вдоль кристаллографической оси, глубиной 1-5 мкм, по которым в дальнейшем происходит разделение на кристаллы, изгибом пластины с нулевым расходом материала на зону разделения. Предполагается, что кристаллы, получаемые таким способом из полупроводниковых пластин в отлаженном технологическом процессе, не содержат вдоль сторон трещин и сколов.

Под риской образуется напряженная область, по которой и происходит разлом подложки после механического воздействия. Главным преимуществом скрайбирования вместе с его высочайшей производительностью и культурой производства является: малая глубина и ширина реза, практически полное отсутствие потерь материала, которых невозможно избежать при использовании других методов разделения пластины на кристаллы.

Наиболее широкую популярность метод скрайбирования получил в планарной технологии производства интегральных схем.

В зависимости от разделяемого образца и способа скрайбирования (по всей поверхности или при нанесении небольшой царапины) устанавливаются разные ножи: прямой равномерно давящий на всю поверхность образца и нож, стоящий под углом воздействующий непосредственно на малую область скрайбирования (после нанесения короткой риски).

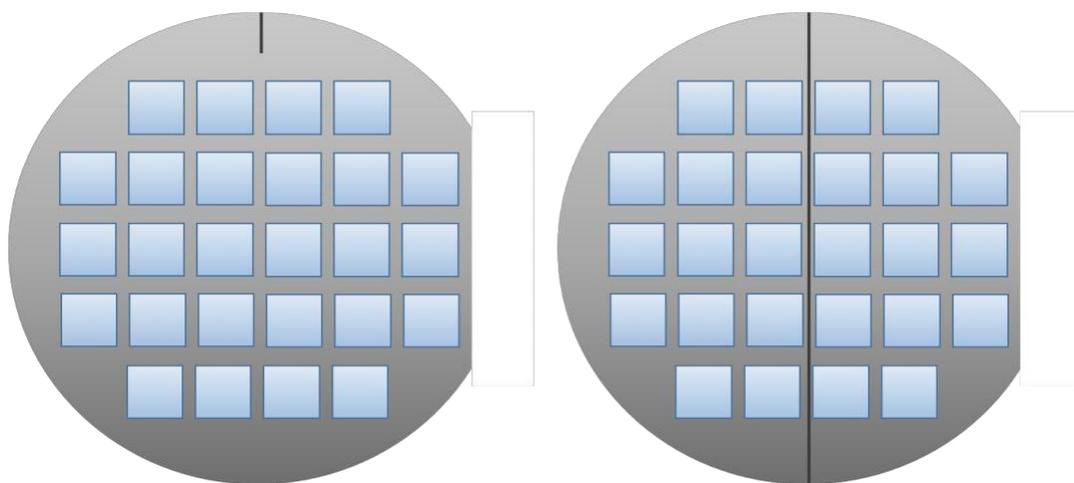


Рисунок 1. Два способа нанесения скрайбовой риски.

В процессе резки пластины применится резец с алмазным наконечником, рабочая часть которого представляет собой четырехгранную пирамиду, в зависимости от рабочего материала.

На алмазный резец и состояние его рабочей части накладывается очень большая ответственность т.к. от него в значительной степени зависит качество скрайбирования и состояние граней. Работа резцами, пришедшими в негодность или резцами из синтетических материалов, приводят к сколам, ломке, и в конечном счете – к браку продукции.

Важную роль в процессе скрайбирования также играет соотношение ширины чипов и толщины разламываемого вейфера. Опытным путем удалось выяснить, что наиболее оптимальным является отношение ширины к толщине 6:1, минимальным – 4:1. Если выбираются другие пропорции, то излом пластины может пойти в произвольном направлении.

Скрайбирование алмазным резцом также возможно двумя способами: первый – это нанесение риски, покрывающей всю поверхность образца (включить видео верхнее) и небольшой рисочки, около 200мк.

Разделение монокристаллических пластин на кристаллы происходит в два этапа: сначала вейфер ломают на полоски, а затем на отдельные чипы. Перед ломкой пластину покрывают специальной плёнкой (например, из полиэтилена или лавсана) во избежание смещения полосок или кристаллов относительно друг друга в процессе разлома и произвольного разламывания или нанесения царапин. Это позволяет сохранить правильную ориентацию полосок и чипов.

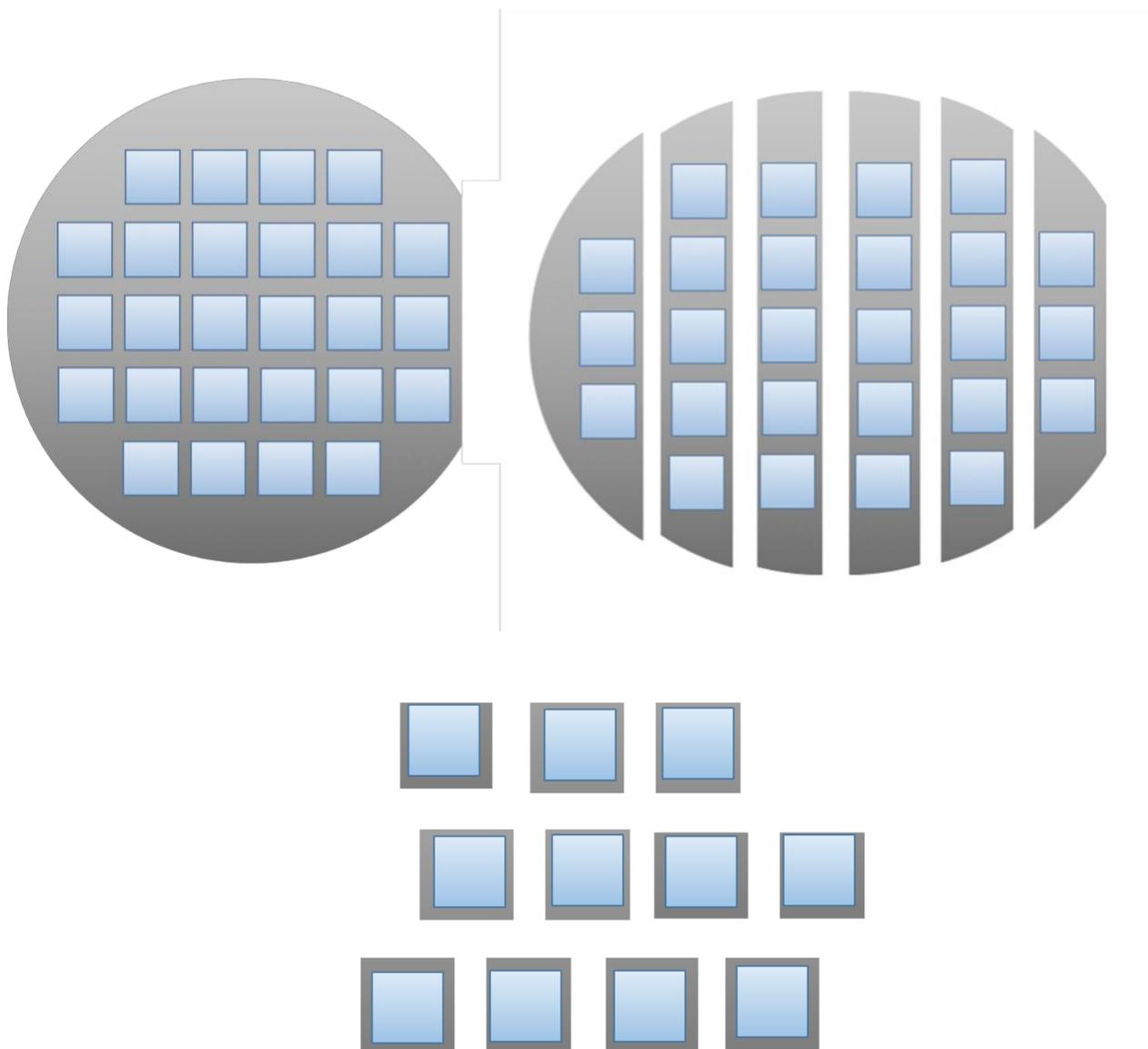


Рисунок 2. Разделение пластины на чипы. Две стадии разламывания: на полосы и на отдельные кристаллы.

**Сравнительные характеристики методов разделения полупроводниковых
ПЛАСТИН**

| Параметры | Метод разделения: | | | |
|----------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|-----------------------|--------------------|
| | скрайбирование алмазным резцом | скрайбирование лазерным лучом | резка диском | резка лазером |
| Обрабатываемый материал | Есть ограничения | Любой | | |
| Максимально возможная скорость обработки кремния, мм/с | 60 | 500 | 300 | 1000 |
| Максимальная скорость, обеспечивающая нормальное качество разделения, мм/с | 25 ... 60 | 200 | до 150 | 200 |
| Глубина реза, мкм | 1 ... 5 | 50 ... 170 | 10 ... 500 | 5000 |
| Ширина реза, мкм | 1 ... 5 | 20 ... 35 | 30 ... 50 | 300 |
| Обработка пластины с окислом | Не рекомендуется | Легко осуществима | Возможна | Возможна |
| Качество граней кристалла | Хорошее | Удовлетворительно | Довольно хорошее | Удовлетворительное |
| Направление движения инструмента | Одностороннее | Двустороннее | Возможно двустороннее | Двусторонние |
| Требования к точности кристаллографической ориентации | Жёсткие | Умеренные | - | - |
| Загрязнение поверхности пластины продуктами отхода (крошка, испарения) | Минимальное | Весьма существенное | Умеренное | Существенное |
| Максимальный выход годных схем после разделения, % | 99,5 | 99 | 98 | 98,5 |

Сравнение методов разделения по основным параметрам показало, что наиболее оптимальным способом является механическое скрайбирование пластин. И поэтому для операции разделения пластин на кристаллы был выбран именно данный способ. Эксперименты проводились на установке Scribe S100-4.

У выбранного способа разделения полупроводниковых пластин на кристаллы технологические отходы материала пластины при разделении близки к нулю.

Предполагается, что кристаллы, получаемые таким способом из полупроводниковых пластин в отлаженном технологическом процессе, не содержат вдоль сторон трещин и сколов.

Сама методика разлома пластины после скрайбирования подразумевает воздействие на образец специальным ножом через упругую пленку. В противодействие ножу, сверху, располагается конструкция, автоматически позиционирующая и прижимающая образец.

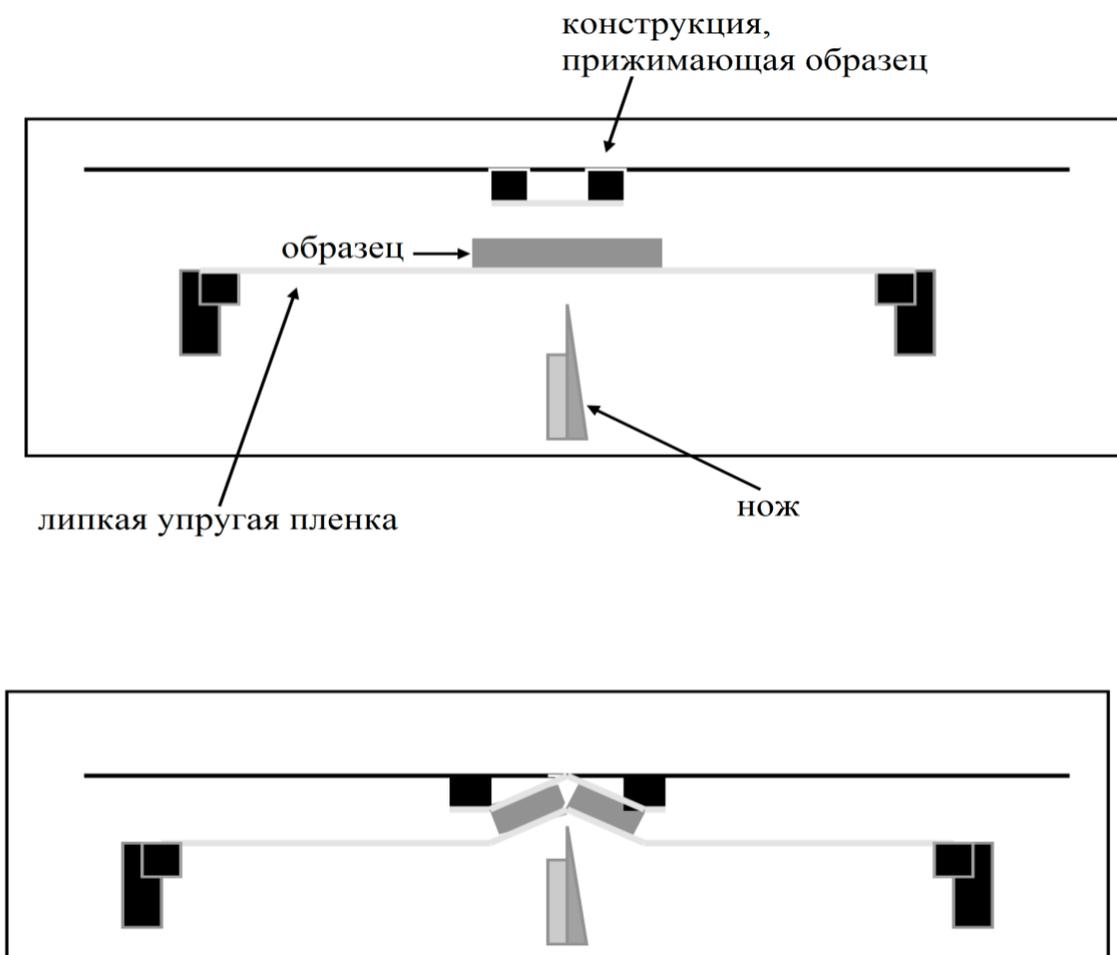


Рисунок 3. Схема разлома пластины после скрайбирования на установке Scribe S100-4.

Особенность материалов, позволяющая разделять их методом скрайбирования влечет за собой также и определенные типы дефектов, возникающие при обработке, и в той или иной степени критичные для конечного результата. В частности, принцип задания скрайбированием вектора для последующего разделения материала может привести к браку (в том случае, если давление при разламывании пластины после нанесения риски приходится на какие-либо дефекты).

Дефекты, способные повлиять на конечный результат, условно можно разделить на следующие категории:

- Дефекты материала, возникающие при производстве, непосредственно, вейфера.

Метод Чохральского подразумевает получение цилиндрической заготовки, впоследствии разделяемой на тонкие пластины (вейферы), а также ряд операций, таких как полировка, нанесение базовых срезов и др. Низкое качество итогового вейфера заключается в относительно высокой шероховатости и наличии дефектов, достаточных для того, чтобы это повлияло на результат при разломе вейфера после скрайбирования.

- Дефекты, возникающие при нанесении риски с помощью технического алмаза

На рисунке 4 (а) изображено направление вектора прилагаемой силы в момент нанесения царапины на образец.

При неправильно подобранном режиме скрайбирования эта сила способна повредить структуру материала и спровоцировать возникновение паразитных дефектов (трещин), рисунок 4 (в), что, в свою очередь, может привести к неравномерному разлому или изменению направления этого разлома, что изображено на рисунке 5. Именно поэтому при работе с материалом большой толщины необходимо использовать несколько проходов алмазом, без увеличения прилагаемой силы. Отчасти, по этим же причинам способ скрайбирования всей поверхности целиком уступает методу нанесения небольшой риски.

Оптимальный угол наклона скрайбирующего элемента выставляется заранее (57 градусов). После чего производится калибровка момента касания алмазом образца (визуально, с помощью системы технического зрения)

Дефекты и трещины имеют влияние на то, куда пойдёт скол непосредственно в момент разлома. Если вейфер треснет не в том направлении, то часть микросхем, нанесённых на него, будет непригодна для использования.

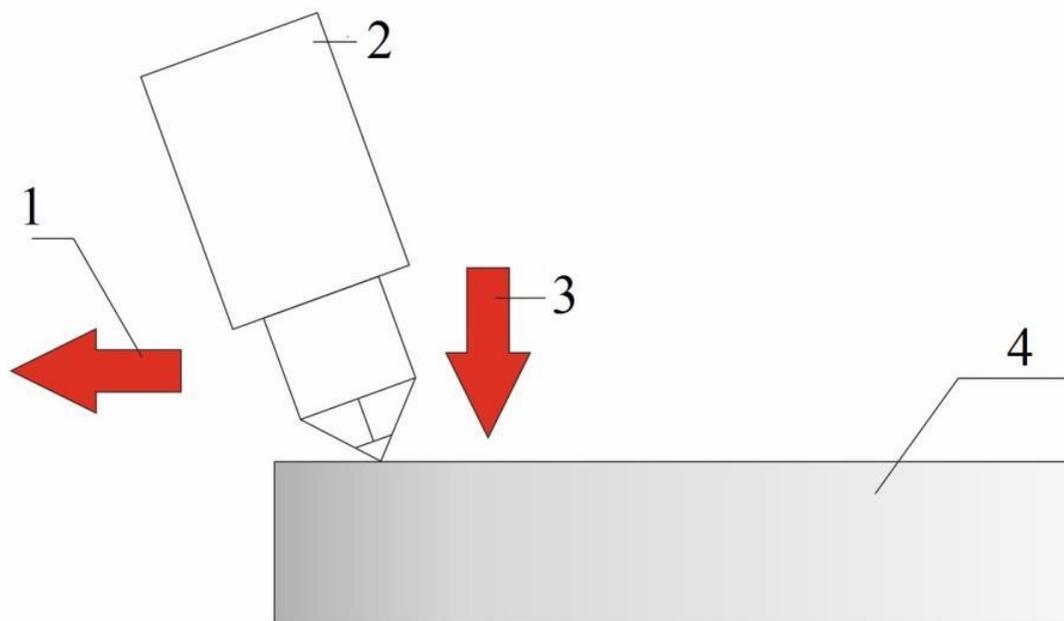


Рисунок 4. а) 1 - направление силы при движении алмаза в момент нанесения царапины
 2 – скрайбирующий элемент с алмазным наконечником
 3 – направление силы в момент давления алмаза на образец 4 – монокристаллическая пластина

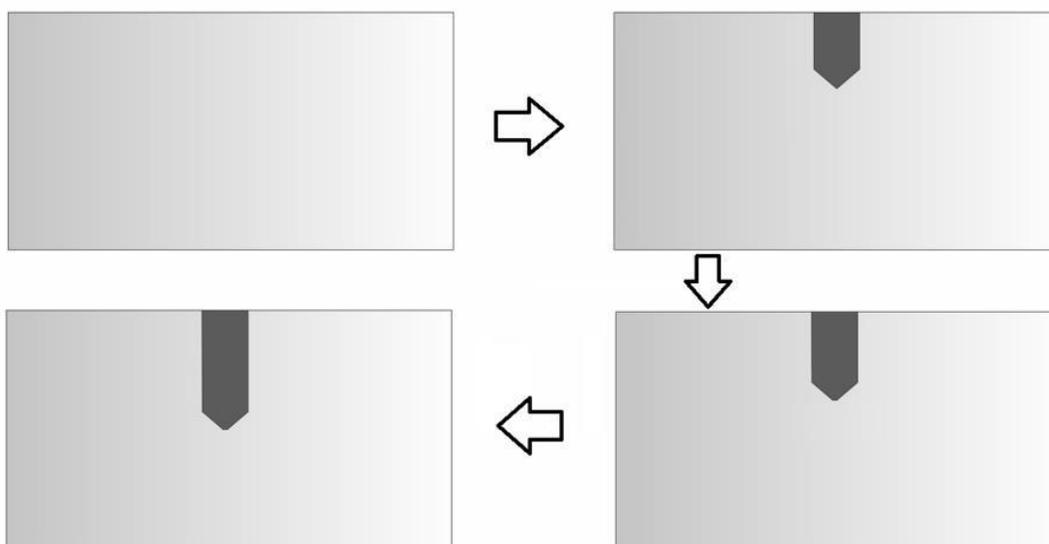


Рисунок 4. б) Увеличение глубины реза путем нескольких проходов инструментом

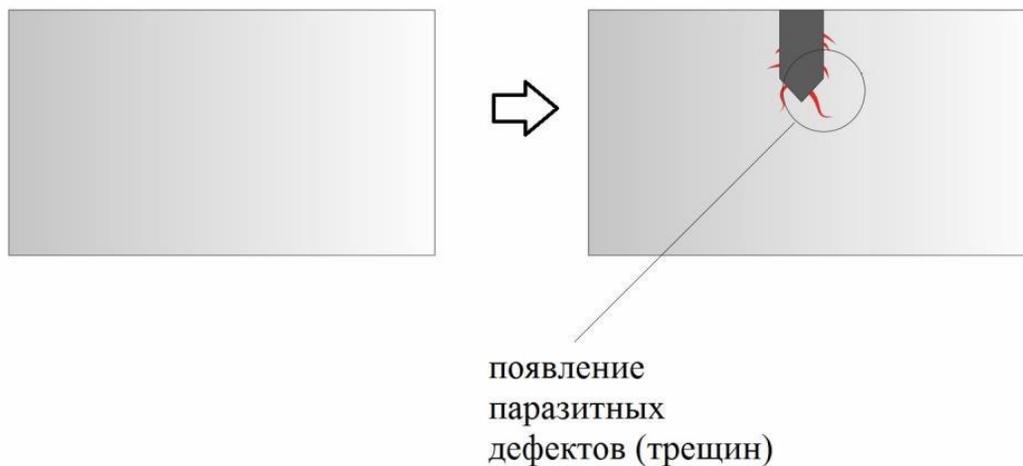


Рисунок 4. в). Увеличение глубины реза путем повышения давления на пластину

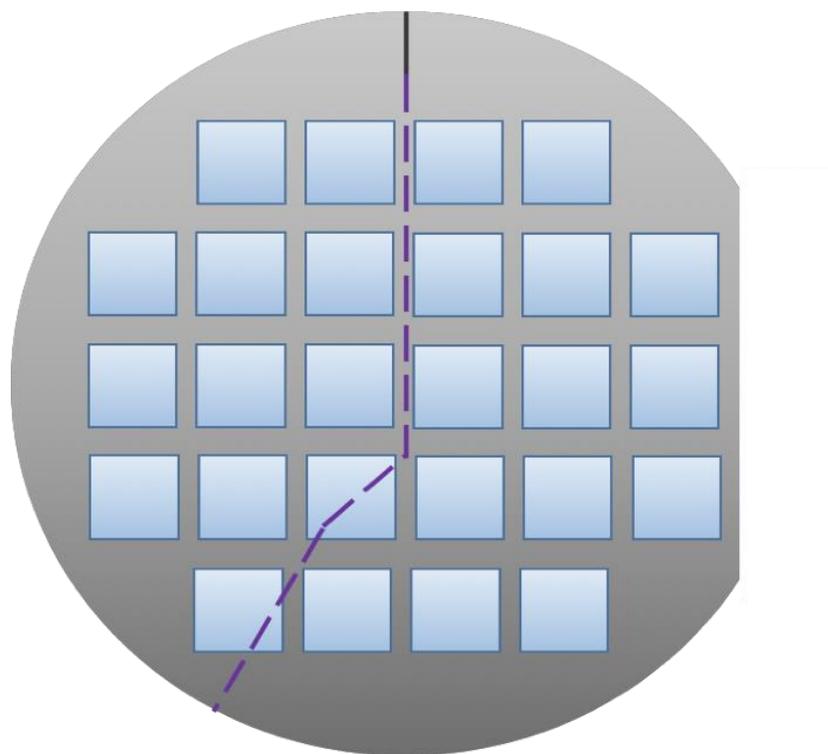


Рисунок 5. Неправильный разлом пластины.

На фотографии образца фосфида индия с электронного микроскопа (рисунок 6) отчетливо видна граница между краем нанесенной риски и началом разлома. Помимо бороздки, оставленной техническим алмазом, заметен также «ореол», состоящий из микротрещин и неровностей, отсутствующий после начала границы разлома.

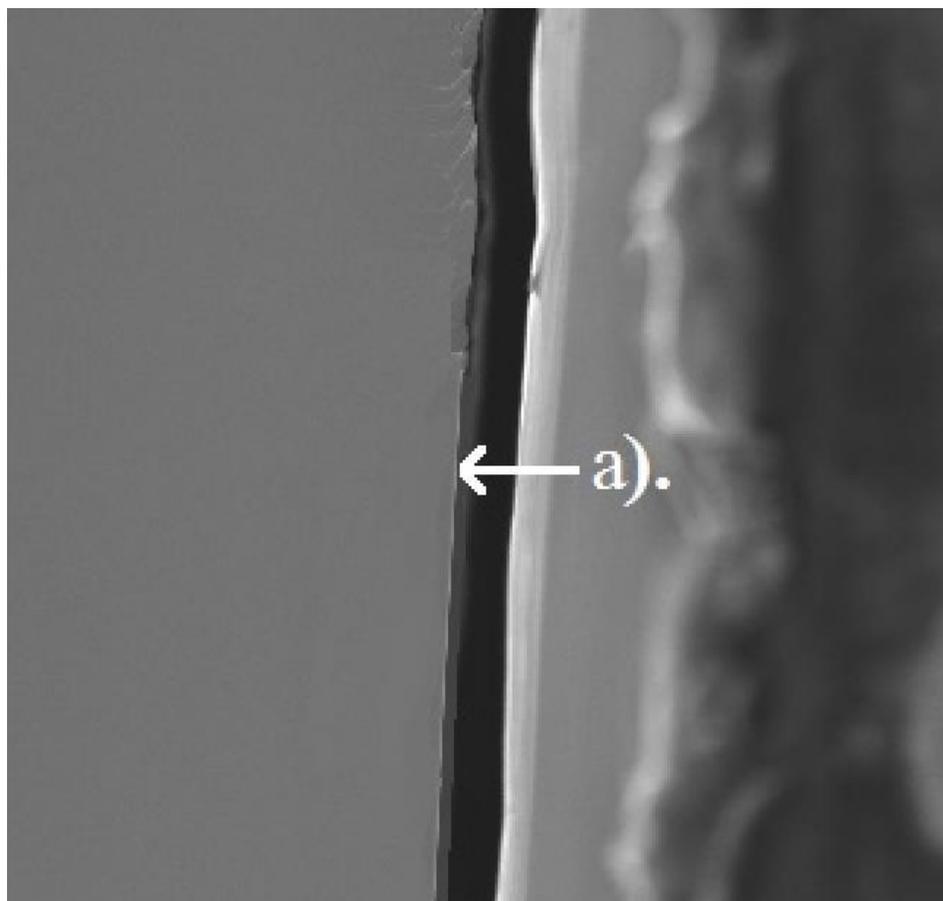


Рисунок 6. Граница между областью, деформированной техническим алмазом, и областью, где начинается разлом.
а) – ровный скол без дефектов.

Полученные результаты

Скрайбирование образца по всей поверхности.

Способ со скрайбированием всей поверхности используется преимущественно для кремния. Это обосновано, в первую очередь, дефектами и неровностями, возникшими в ходе эксперимента при попытках произвести разлом способом с нанесением скрайбовой риски. В этом случае разделения были хаотичными, «уводящими» линию разлома произвольно, не по кристаллографической оси, тем самым делая образец непригодным для дальнейшей работы. Такое поведение материала обусловлено спайностью.

Важный момент при подобном способе – скрайб (царапина) от технического алмаза, проходящий по всей поверхности образца, делает одну из кромок (рис. 7б) непригодной для использования без последующей обработки (полировки). Противоположная же сторона (рис. 7а) не имеет дефектов и не нуждается в дополнительной обработке.

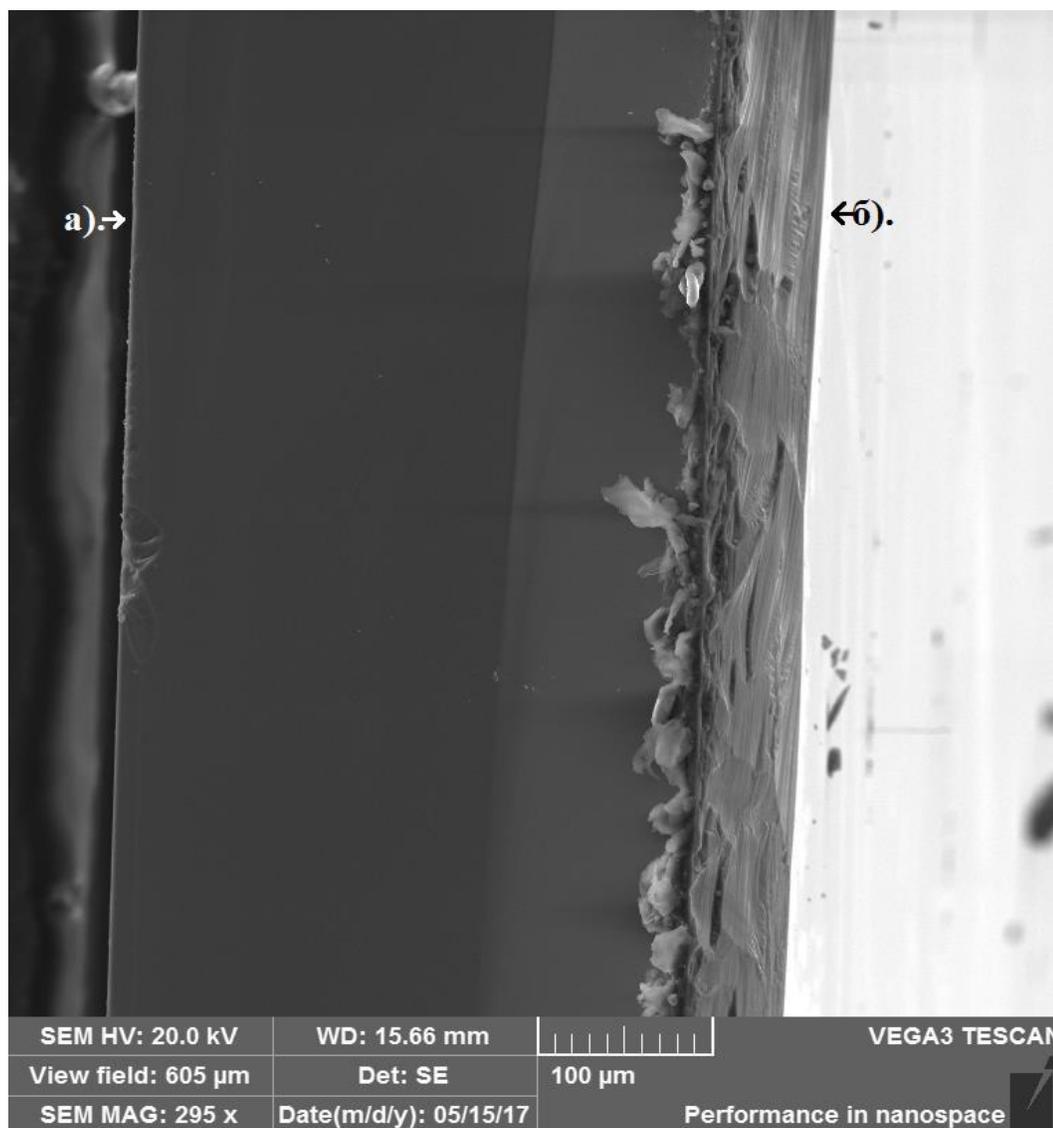


Рисунок 7. Фотография кремниевой пластины, сделанная на электронном микроскопе, после разделения на установке Scribe S100-4:
а). обратная сторона б). рабочая поверхность

Данный метод является устаревшим, на смену ему пришел более совершенный способ – нанесение короткой скрайбовой риски длиной около 200мкм, и используется он только для материалов, в которых не наблюдается или слабо наблюдается такая характеристика как спайность.

Нанесение кроткой скрайбовой риски.

При работе с фосфидом индия скрайбирование более актуально ввиду того, что сам материал легче разламывается по кристаллографической оси (совершенная спайность) и не подлежит полировке из-за своей хрупкости. То есть сквозная резка для него неприменима вообще, как и скрайбирование по всей поверхности.

Актуальным методом разделения образца InP на компоненты является нанесение небольшой царапины техническим алмазом (длина ~200 мкм) с последующим разломом по линии кристаллографической оси.

Использование подобной методики показало следующие нюансы:

- Линия скрайба оставляет неглубокий дефект на рабочей поверхности,
- равный длине наносимой царапины.
- Сторона, противоположная линия скрайбирования практически не деформируется.
- Сама поверхность образца InP достаточно ровная и гладкая. Дефекты
- на кромке отсутствуют.

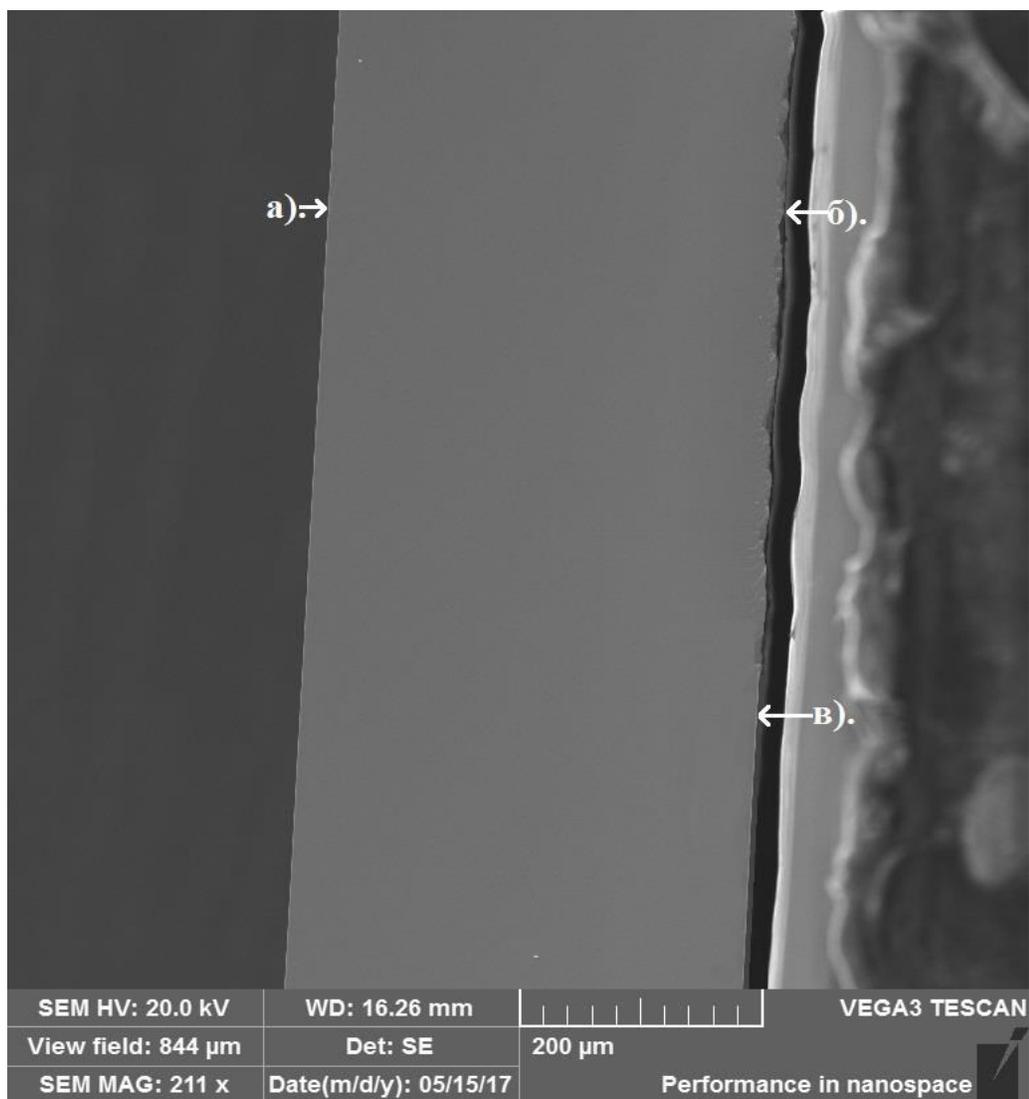


Рисунок 8. Фотография пластины фосфида индия, сделанная на электронном микроскопе, после разделения на установке Scribe S100-4:
а). обратная сторона
б). рабочая поверхность, крайбовая риска в). область, не тронутая алмазным резцом

Выводы

- Разделение пластин кремния по линии скрайба длиной ~200 мкм не является актуальным способом для данного материала, т.к. спайность кристалла является средней, разлом идет произвольным образом и приводит к различным видам брака.
- Скрайбирование образцов кремния путем нанесения всей длине образца показало удовлетворительные результаты, что не отменяет необходимости последующей полировки кристаллов.
- Скрайбирование образцов фосфида индия с длиной скрайба ~200мкм показало хорошие результаты – удалось добиться разделения пластины на отдельные элементы с сохранением ровности кромок и аккуратности излома.
- Причинами различного поведения образцов кремния и фосфида индия при использовании похожих методик разделения являются разнотолщинность материалов, степень шероховатости и качества обработки, а также их природа спайности.

Заключение

На данном этапе исследований были достигнуты важные результаты:

- Исследовано поведение различных образцов при скрайбировании и выявлены оптимальные характеристики, которыми должен обладать кристалл для разделения на установке Scribe S100-4
- Проведенное исследование показало, что проблема разделения кристаллических пластин может быть решена только для части монокристаллических материалов

Исследованный в работе метод разделения кристаллических пластин требует контроля параметров, настройки режимов разлома и скрайбирования, при несоблюдении которых можно получить отрицательные результаты даже на высококлассном современном оборудовании, используя подходящие материалы. Помимо самого материала и его толщины, качество его предварительной обработки также может повлиять на итоговый результат.

В целом, следует понимать, что процесс, несмотря на несложную концепцию механического разделения, требует очень серьезного подхода, т.к. цена ошибки - испорченный чип (либо несколько чипов), и в большинстве случаев этот брак необратим.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.

1. Кристаллы квантовой и нелинейной оптики/ А.А. Блистанов// М.: МИСИС. – 432 с.
2. Энциклопедия физики и техники [Электронный ресурс]. URL: <http://www.femto.com.ua/>
3. Физические основы интегральной оптики/ М.Ф.Панов, А.В.Соломонов, Ю.В.Филатов. – М.: Издательский центр «Академия», 2010. –432 с.
4. Смирнов В.А., Старшинова И.В., Фрязинов И.В. Математическое моделирование процессов выращивания монокристаллов по Чохральскому. // Математическое моделирование. Получение монокристаллов и полупроводниковых. М.: Наука, 1986. С. 40 – 59.
5. Бердников В.С. Моделирование гидродинамики расплава при вращении кристаллов методом вытягивания. // Теплофизические процессы при кристаллизации и затвердевании. 1984, С. 64 – 81.
6. Бер А.Ю., Минскер Ф.Е. Сборка полупроводниковых приборов и интегральных микросхем. // Учебное пособие. М.: Высшая школа. 1986, 279 с.
7. Черняев В.Н. Технология производства интегральных микросхем и микропроцессоров. // Учебник для ВУЗов. М.: Радио и связь, 2007, 464 с.
8. Ивенин С.В. Обработка пластин монокристаллического карбида кремния. ФГБОУ ВПО «Мордовский Государственный Университет им. Н.П. Огарёва», С. 15 – 45.
9. Иванов В.И. Методы резки кремниевых приборных пластин на чипы в производстве. ФГБОУ ВПО «Московский Государственный Университет Приборостроения и Информатики», С. 4 – 6.
10. Лабеекина И.А., Гаврилов В.И., Середнев М.А., Никитин А.А. Физические свойства минералов. // Учебное пособие, 2005, 512 с.