



СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ
ЭЛЕКТРОННОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

ООО «ЛионТех»

196247, Россия, Санкт-Петербург,

Ленинский проспект, д. 153, лит. А, офис 906 (этаж 9)

Тел./Факс: +7 (812) 309-27-37, +7 (495) 646-14-76

E-mail: mail@liontech.ru www.liontech.ru

Применение технологии лазерного управляемого термораскалывания в производстве силовых приборов на основе карбида кремния

Перевод: Сергей Воробьев, «ЛионТех-С», s.vorobyev@liontech.ru

Авторы: Hans-Ulrich Zuehlke, Mandy Gebhardt (3D-Micromac AG)



Звонок по России бесплатный:

Технологическое оборудование и расходные материалы
для производства электроники

8 800 555 6889

8 (812) 309-27-37

8 (495) 646-14-76

www.liontech.ru



СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ
ЭЛЕКТРОННОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

ООО «ЛيونТех»

196247, Россия, Санкт-Петербург,
Ленинский проспект, д. 153, лит. А, офис 906 (этаж 9);
Тел./Факс: +7 (812) 309-27-37, +7 (495) 646-14-76
E-mail: mail@liontech.ru www.liontech.ru

Введение

В настоящей статье выполнен обзор возможностей нового подхода к лазерной резке – технологии лазерного управляемого термораскалывания (Thermal Laser Separation, далее по тексту TLS), для производства силовых полупроводниковых приборов на основе карбида кремния. В рассматриваемом примере технология TLS была использована для разделения на кристаллы типовой карбид-кремниевой пластины с металлизацией на обратной стороне, а также с полиимидными и металлическими структурами, расположенными в зоне резки. Продемонстрирован высокий уровень качества резки с точки зрения выхода годных и состояния краев разделенных кристаллов. Также выявлено значительное снижение себестоимости процесса по сравнению с традиционными технологиями резки.

Основные трудности, возникающие при резке карбида кремния

Карбид кремния (SiC) — это кристаллическое соединение кремния и углерода. Этот материал характеризуется высокой подвижностью носителей заряда, он также отличается высокой твердостью, прочностью и теплопроводностью. Благодаря совокупности этих характеристик, SiC применяется для производства силовых полупроводниковых приборов, светодиодов и датчиков, работающих в жестких внешних условиях. Основными факторами, характеризующими технологический уровень производства приборов на основе SiC, являются себестоимость продукции, ее качество и объемы производства. Резка пластин становится критически важным процессом, влияющим на добавленную стоимость продукции, и который должен не

только обеспечивать требуемый уровень выхода годных изделий, но и способствовать его повышению.

Традиционным методом разделения пластин из карбида кремния является дисковая резка. Абразивные частицы, расположенные в режущей части быстро вращающегося диска, механически удаляют материал пластины. Из-за высокой твердости SiC (9,2 по шкале Мооса), процесс дисковой резки этого материала характеризуется низкой скоростью подачи и быстрым износом режущих дисков, а также риском разрушения дисков во время резки. Кроме того, неизбежным результатом дисковой резки является наличие таких дефектов, как сколы, а также отслоение наружных слоев пластины по кромке кристалла (рис. 1). В усовершенствованном варианте этого метода применяется ультразвук, что обеспечивает несколько более высокую скорость резки (10-20 мм/с), однако и этот способ обладает указанными выше недостатками. В связи с приближающимся переходом на увеличенный диаметр SiC пластин (со 100 мм на 150 мм), возможности дисковой резки исчерпываются, поскольку общая длина реза на пластине увеличивается более чем в два раза и одного режущего диска может не хватить для разделения всей пластины. В этом случае изношенный режущий диск должен быть заменен на новый, пока пластина находится в установке резки, либо – как наихудший сценарий – диск может разрушиться во время процесса резки и повредить пластину. Для разделения полупроводниковых пластин также широко используется метод лазерной абляции. Но, применяя этот метод к резке SiC пластин, следует учитывать возникающие при этом дефекты, снижающие выход годных – микротрещины, широкая зона термического влияния, частицы металлической пыли вдоль дорожки реза.



Звонок по России бесплатный:

8 800 555 6889

8 (812) 309-27-37

8 (495) 646-14-76

www.liontech.ru

Технологическое оборудование и расходные материалы
для производства электроники



СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ
ЭЛЕКТРОННОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

ООО «ЛионТех»

196247, Россия, Санкт-Петербург,
Ленинский проспект, д. 153, лит. А, офис 906 (этаж 9);
Тел./Факс: +7 (812) 309-27-37, +7 (495) 646-14-76
E-mail: mail@liontech.ru www.liontech.ru

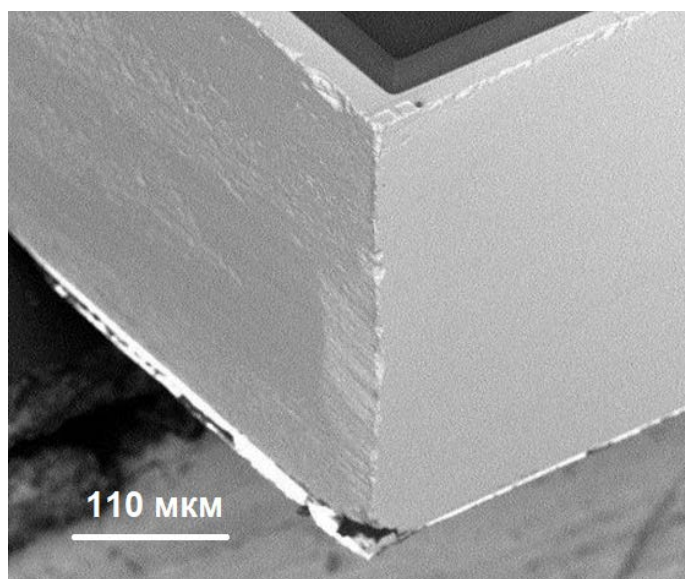


Рис. 1 Край кристалла SiC после дисковой резки пластины – видны микротрещины и отслоение металлизации [1].

- не отслаивается слой металлизации с обратной стороны пластины;
- не происходит износ рабочего инструмента, так как никакой инструмент для резки вообще не используется;
- низкая стоимость владения оборудованием (не применяются рабочие инструменты для резки, практически не используются расходные материалы);
- нулевая ширина реза, что позволяет уменьшать расстояние между кристаллами на пластине.

Принцип действия процесса TLS основан на использовании индуцированного термического напряжения, что приводит к раскалыванию таких хрупких материалов как кремний (Si), германий (Ge), карбид кремния (SiC) и арсенид галлия (GaAs). Луч лазера разогревает поверхность материала и формирует зону сжимающего напряжения, окруженную зоной растягивающих напряжений (см. рис. 2а). Сразу вслед за этим, чрезвычайно малым потоком распыленной деионизованной воды на поверхности материала создается охлажденная зона с формированием тангенциальных растягивающих напряжений (см. рис. 2б). Результирующее растягивающее напряжение в области перекрытия обеих зон имеет локальный максимум, который четко сфокусирован и имеет строгую направленность (перпендикулярно дорожке реза) и, таким образом, выполняется направленное сквозное раскалывание материала (рис. 2в).

Обзор технологии TLS

Лазерное управляемое термораскалывание (TLS) это быстрый, безотходный и экономически выгодный метод разделения пластин карбида кремния. В сравнении с дисковой резкой или лазерной абляцией этот метод обладает многими преимуществами, среди которых:

- высокая скорость резки (200 мм/с для SiC), что позволяет разделять до 10 пластин диаметром 100 мм на кристаллы размером 2x2 мм в час;
- образование очень гладких боковых граней кристалла – что может быть существенным для вертикальных диодов, так как из-за того, что не повреждается р-п-переход, предотвращается возникновение повышенного тока утечки;
- не возникает практически никаких сколов и микротрещин в зоне разделения;



Звонок по России бесплатный:

8 800 555 6889

Технологическое оборудование и расходные материалы
для производства электроники

8 (812) 309-27-37

8 (495) 646-14-76

www.liontech.ru



СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ
ЭЛЕКТРОННОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

ООО «ЛيونТех»

196247, Россия, Санкт-Петербург,
Ленинский проспект, д. 153, лит. А, офис 906 (этаж 9);
Тел./Факс: +7 (812) 309-27-37, +7 (495) 646-14-76
E-mail: mail@liontech.ru www.liontech.ru



Рис. 2а Растягивающие напряжения вокруг зоны сжимающего напряжения.



Рис. 2б Растягивающее напряжение в охлажденной зоне.

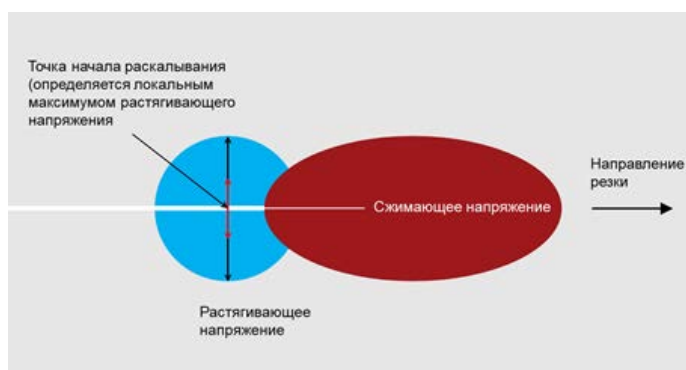


Рис. 2в Результирующее растягивающее напряжение в области перекрытия зон вызывает направленное сквозное раскалывание.

Технология TLS позволяет разделять пластину по всей толщине за один проход. Начальная точка разделения задается предварительным лазерным скрайбированием, локально или линией. Локальное скрайбирование предпочтительно для обеспечения максимальной прочности на изгиб и наименьшего образования частиц продуктов резки. С другой стороны, предварительное скрайбирование линией дает лучшие результаты резки в случае наличия металлизации на дорожке реза, а также обеспечивает прямолинейное раскалывание по линии скрайба.

Благодаря тому, что TLS это процесс раскалывания, образуются абсолютно гладкие, бездефектные кромки кристаллов – без микротрещин и сколов (рис. 3). Степень уменьшения прочности на изгиб в результате процесса TLS значительно ниже, чем при разделении пластин методом лазерной абляции. Кроме того, металлизация на обратной стороне пластины не подвергается температурному воздействию и не отслаивается.

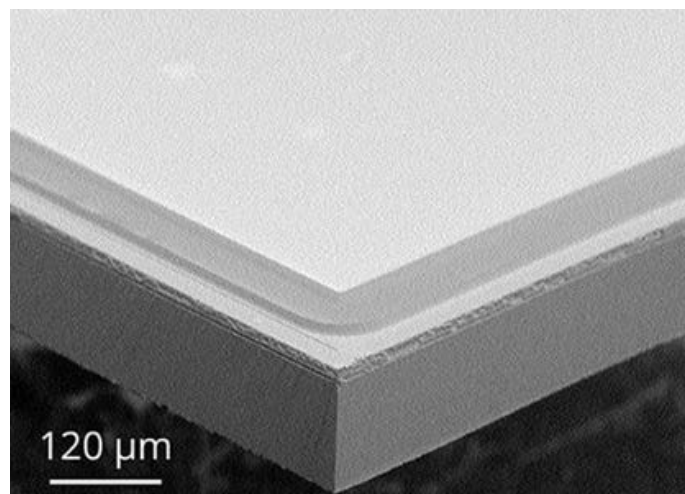


Рис. 3 Край кристалла SiC после разделения пластины методом TLS – абсолютно ровная кромка, без микротрещин и сколов.



Звонок по России бесплатный:

8 800 555 6889

8 (812) 309-27-37

8 (495) 646-14-76

www.liontech.ru

Технологическое оборудование и расходные материалы
для производства электроники



Постановка эксперимента

Целью эксперимента было определение влияния технологии TLS на выход годных при резке пластин из карбида кремния. Разделение пластины выполнялось на установке microDICE (3D-Micromas, Германия). Для эксперимента была использована пластина SiC диаметром 100 мм, толщиной 110 мкм, с тонким слоем серебряной металлизации на обратной стороне. На дорожках реза были расположены несколько металлических площадок тестовых структур. Активная зона кристаллов была защищена полиимидным покрытием. Внешняя граница краевой зоны на лицевой стороне пластины была металлизирована и покрыта защитным полиимидным слоем. По требованию заказчика разделение должно было быть выполнено на группы из девяти кристаллов (3х3 кристалла), по этой причине пластина была разрезана по каждой третьей дорожке (рис. 4).

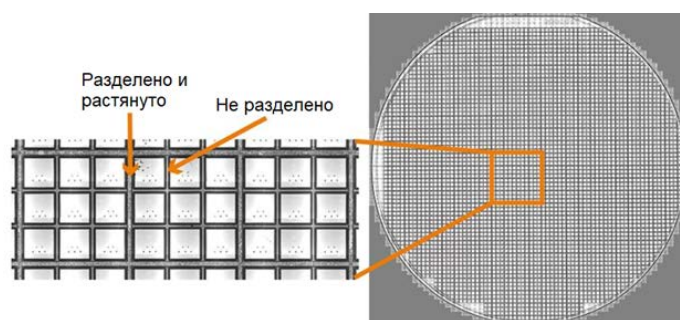


Рис. 4 Пластина полностью разделена на группы из девяти кристаллов (3х3 кристалла).

Как было сказано выше, начальная точка разделения задается локальным или линейным скрайбированием, выполненным перед основным процессом резки. Для удаления отражающего слоя металлизации с тестовых структур было применено неглубокое лазерное скрайбирование по всей длине дорожек реза. Для скрайбирования использовался короткоимпульсный лазер с длиной волны 532 нм и гауссовым пучком излучения. Скорость скрайбирования варьировалась в пределах от 50 мм/с до 200 мм/с. Чем ниже скорость скрайбирования, тем уже зона термического влияния в защитном полиимидном покрытии и меньше загрязнение частицами продуктов резки. Дальнейшие исследования показали, что сопоставимые по качеству результаты скрайбирования могут быть достигнуты и с помощью менее дорогих источников лазерного излучения в ближней инфракрасной области (БИК). Чтобы получить ровную линию скрайбирования, использовалась автофокусировка по оси Z. Разделение раскалыванием выполнялось лазером БИК, мощностью 200 Вт и непрерывным излучением. Потребление охлаждающей деионизованной воды было менее 10 мл/мин.

Результаты эксперимента

В результате разделения пластины методом TLS края кристаллов получились ровными и без таких дефектов, как сколы и микротрещины (рис. 3). Не было выявлено практически никаких следов теплового воздействия на полиимидное покрытие. Для разделения пластины не использовалось никакое защитное покрытие, не применялся процесс отмытки после резки, что является значительным преимуществом технологии TLS с точки зрения величины эксплуатационных расходов. Разделение слоя





СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ
ЭЛЕКТРОННОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

ООО «ЛيونТех»

196247, Россия, Санкт-Петербург,
Ленинский проспект, д. 153, лит. А, офис 906 (этаж 9);
Тел./Факс: +7 (812) 309-27-37, +7 (495) 646-14-76
E-mail: mail@liontech.ru www.liontech.ru

металлизации на обратной стороне кристалла прошло ровно по кромке, без отслаивания (рис. 5). Это важное условие для сведения к минимуму проблем, связанных с монтажом кристалла на теплоотводящее основание.

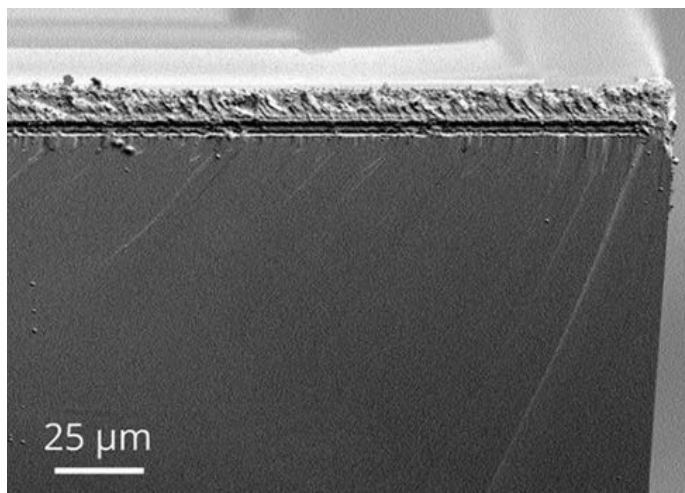


Рис. 5 Ровное разделения слоя металлизации на обратной стороне кристалла. Видно отклонение вертикальности грани на 4°

Лазерное скрайбирование линией, использованное для удаления металлизации с тестовых структур, не оказало никакого отрицательного влияния на материал в объеме пластины (рис. 6).

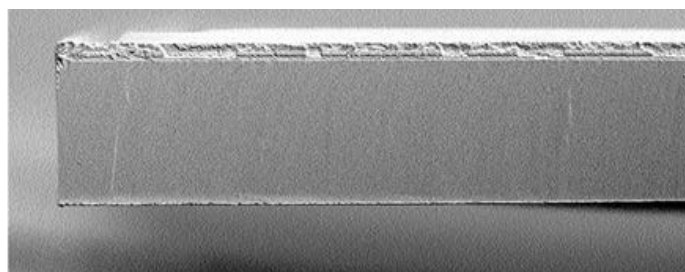


Рис. 6 Влияние наличия металла на дорожке реза. По линиям Вальнера видно, что разделение выполнено аккуратно, с минимальными отклонениями от прямолинейности

Влияние процесса на выход годных

Анализ обработанной пластины с точки зрения наличия дефектов и уровня выхода годных был произведен с помощью оборудования оптического контроля высокого разрешения. Используемый метод контроля был заимствован у одного из производителей промышленных устройств на основе карбида кремния. Для расчета выхода годных учитывались только те кристаллы, которые находились внутри краевой зоны. В результате уровень выхода годных составил 98,91%. Выявленные дефекты и отклонения были разделены на категории (см. Таблицу 1). Практически все дефекты оказались расположенными в краевой зоне.

Категория дефекта	Выход годных, %
Без дефектов	97,97
Несущественные отклонения от прямолинейности	0,94
Существенные отклонения от прямолинейности	0,23
Повреждение кристаллов, расположенных вблизи металлизации внешней границы краевой зоны	0,83
Общий выход годных (кристаллы, годные к использованию)	98,91



Звонок по России бесплатный:

8 800 555 6889

8 (812) 309-27-37

8 (495) 646-14-76

www.liontech.ru

Технологическое оборудование и расходные материалы
для производства электроники



СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ
ЭЛЕКТРОННОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

ООО «ЛионТех»

196247, Россия, Санкт-Петербург,
Ленинский проспект, д. 153, лит. А, офис 906 (этаж 9);
Тел./Факс: +7 (812) 309-27-37, +7 (495) 646-14-76
E-mail: mail@liontech.ru www.liontech.ru

Анализ показал наличие характерной особенности – короткого локального отклонения линии раскалывания от заданного направления, перпендикулярно краю пластины. Но во всех случаях это отклонение не выходило за пределы краевой зоны, поэтому оно не учитывалось при расчете выхода годных.

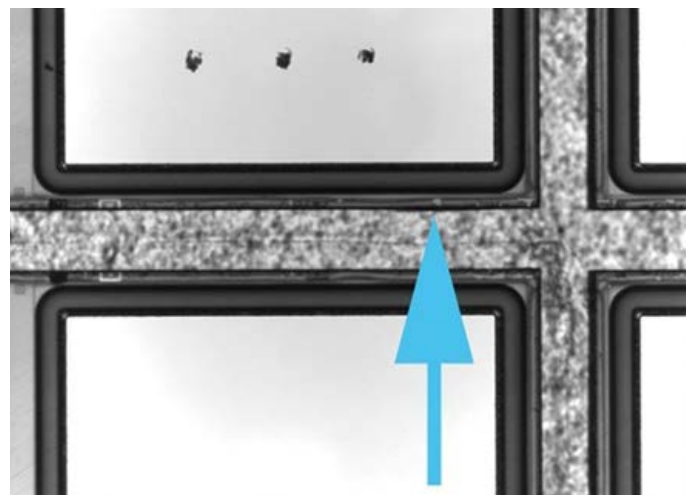
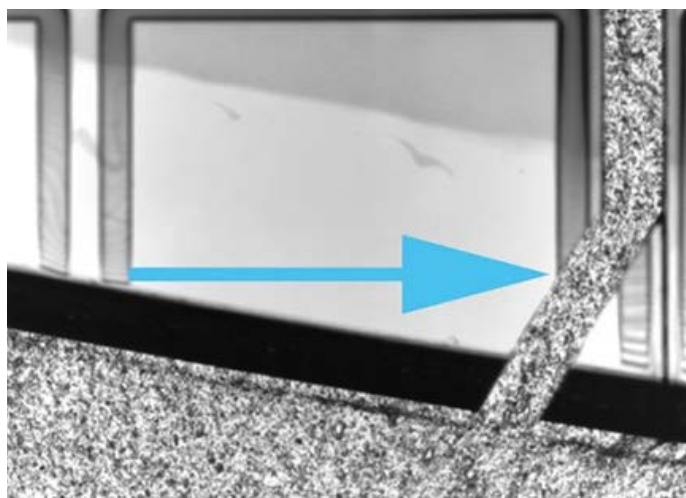


Рис. 8 Пример, показывающий незначительное отклонение линии раскалывания от прямолинейности. Это отклонение не оказывает никакого негативного влияния на рабочие характеристики кристалла

У нескольких кристаллов края получились не идеально прямыми, однако эти отклонения не затрагивали активные зоны кристаллов (см. Табл.1 – незначительные отклонения от прямолинейности).

В еще более редких случаях линия раскалывания касалась активной зоны кристалла. Вероятной причиной этого дефекта можно рассматривать наличие остаточных напряжений в пластине.

В рассматриваемом эксперименте, на лицевую сторону пластины по внешней границе краевой зоны был нанесен массивный слой металлизации, покрытый сверху полиимидным слоем. Наличие этого металлизированного кольца было обусловлено правилами проектирования производителя пластины. Повреждение нескольких кристаллов, расположенных вблизи краевой зоны, было очевидным образом вызвано наличием кольца металлизации. Избежать возникновения подобных дефектов можно, применив предварительное лазерное скрайбирование – тем же способом, который применялся для удаления металлизации с контактных площадок тестовых структур, расположенных внутри дорожки реза. Либо, по возможности, изменив правила проектирования, чтобы не создавать



Звонок по России бесплатный:

8 800 555 6889

8 (812) 309-27-37

8 (495) 646-14-76

www.liontech.ru

Технологическое оборудование и расходные материалы
для производства электроники



СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ
ЭЛЕКТРОННОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

ООО «ЛионТех»

196247, Россия, Санкт-Петербург,
Ленинский проспект, д. 153, лит. А, офис 906 (этаж 9);
Тел./Факс: +7 (812) 309-27-37, +7 (495) 646-14-76
E-mail: mail@liontech.ru www.liontech.ru

кольца металлизации по краю пластины.

Таким образом, рекомендуется избегать наличия кольца металлизации по внешней границе краевой зоны пластины одним из предложенных способов – либо изменить правила проектирования соответствующим образом, чтобы металлизации не было вообще, либо удалять металлизацию предварительным лазерным скрайбированием. Применяя тот или иной способ, можно повысить выход годных еще на 0,8%, достигнув значения 99,74%.

Кристаллы после резки были корпусированы и отправлены на испытания на стойкость к воздействию термоциклирования. После термоциклирования только один из 106 кристаллов не прошел испытания по результатам измерения тока утечки. Процесс TLS вероятнее всего не является причиной этого отказа.

Дополнительные выводы

Кроме увеличения выхода годных, продемонстрировано значительное преимущество процесса TLS с точки зрения количества затрат, необходимых на разделение одной пластины. Вследствие чрезвычайно высокой твердости SiC, при разделении одной пластины дисковой резкой полностью расходуется один режущий диск. Как отмечалось ранее, эта проблема усугубляется, если необходимо разрезать пластины большего диаметра – например, для разделения пластин SiC диаметром 150 мм необходимо использовать более одного режущего диска. Кроме того, чтобы производительность дисковой резки была сопоставима производительности процесса TLS, на одну установку TLS-резки должно приходиться девять установок дисковой резки. Учитывая этот и другие факторы, такие как количество используемых расходных материалов, прогнозируемую амортизацию оборудования и количество занимаемых производ-

ственных площадей (одна установка TLS-резки или девять установок дисковой резки), общие затраты на разделение 150 мм пластины SiC дисковой резкой составляют порядка \$35, в то время как для процесса TLS эта величина равна \$2,40 на пластину. При этом еще не учитываются такие факторы, как дополнительные затраты на оплату работы оператора, который должен обслуживать одну, а не девять единиц оборудования, а также увеличенный выход годных, который обеспечивает процесс TLS.

Заключение

Технология TLS это совершенно новый технологический подход, обеспечивающий высокую производительность и качество резки хрупких материалов при сохранении низкой себестоимости процесса. Принцип раскалывания доказал свои уникальные преимущества для разделения пластин SiC с металлизацией на обратной стороне, используемых в производстве силовых приборов. Результаты эксперимента, описанного в настоящей статье, показали очень высокий выход годных процесса TLS, который составил 98,9%. Это усредненное значение, полученное на небольшой партии 100 мм пластин SiC с металлизацией на обратной стороне, с полиимидным покрытием активной стороны кристаллов и тестовыми структурами, расположенными в дорожке реза.

Технология TLS демонстрирует уникальные преимущества для производства силовых приборов на основе карбида кремния. Результаты исследования возможности использования этой технологии в других областях применения и для других материалов (например, кремния) готовятся и будут опубликованы позднее. Например, разделение без образования частиц продуктов резки может быть важным для производства изделий с применением технологии



Звонок по России бесплатный:

8 800 555 6889

Технологическое оборудование и расходные материалы
для производства электроники

8 (812) 309-27-37

8 (495) 646-14-76

www.liontech.ru



СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ
ЭЛЕКТРОННОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

ООО «ЛионТех»

196247, Россия, Санкт-Петербург,
Ленинский проспект, д. 153, лит. А, офис 906 (этаж 9);
Тел./Факс: +7 (812) 309-27-37, +7 (495) 646-14-76
E-mail: mail@liontech.ru www.liontech.ru

флип-чип монтажа – МЭМС и 3D-интегрированных устройств. Кроме того, возможность получения нулевой ширины реза может оказать значительное влияние на увеличение выхода годных (особенно когда речь идет о разделении пластин на кристаллы небольшого размера) и позволит проектировать пластины с большим, чем обычно, количеством кристаллов.



Рис. 8 microDICE – автоматическая система разделения полупроводниковых пластин методом лазерного управляемого термораскалывания.

Ссылки

[1] Karl O. Dohnke et al., Comparison of different novel chip separation methods for 4H-SiC; Materials Science Forum Vols 821-823 (2015) pp 520-523



Звонок по России бесплатный:

8 800 555 6889

Технологическое оборудование и расходные материалы
для производства электроники

8 (812) 309-27-37

8 (495) 646-14-76

www.liontech.ru