

Разделение пластин из сапфира на кристаллы лазерным скрайбированием

В публикации приведены режимы разделения пластин из сапфира толщиной 450 и 625 мкм на кристаллы лазерным скрайбированием на установке ЭМ-4452-1 при энергии лазерного излучения до 10 мкДж.

Александр Видрицкий

AVidritskiy@integral.by

Владимир Ланин
Игорь Петухов

Современная микроэлектроника использует для создания микромодулей широкий спектр материалов — полупроводники (кремний, германий, арсенид галлия), пьезокварц, ниобат лития, танталат лития, лангасит, лангатаг, лекосапфир, стекло, различные виды алюмооксидной керамики и другие. Разделение пластин полупроводников и диэлектриков с помощью лазерного излучения относится к бесконтактным способам, при которых отсутствует механическое воздействие на обрабатываемый материал. Разделение можно выполнить либо с предварительным получением рисок (лазерное скрайбирование), либо путем сквозного прохода всей толщины материала (лазерная резка).

Формирование рисок происходит в результате испарения материала сфокусированным лазерным лучом большой мощности. При сквозной резке

Введение

также происходит и оплавление краев реза. Резка с помощью лазерного луча имеет следующие основные преимущества:

- можно производить резку сквозь слои оксида, металла и т. д.;
- благодаря отсутствию механического воздействия практически исключаются микросколы и микротрещины;
- оплавление материала по краям риски уменьшает вероятность отслаивания пленочных покрытий;
- кристаллографическая ориентация не оказывает влияния на качество разделения и форму кристаллов;
- получаемые кристаллы имеют практически вертикальные боковые поверхности, что весьма облегчает автоматическую сборку.

Размеры риски определяются диаметром лазерного луча, скоростью перемещения пластины или подложки относительно лазерного луча, мощностью, частотой и длительностью импульсов излучения. Обычно ширина рисок составляет 25–40 мкм, зона оплавления по периферии кристалла — около 10 мкм. Высокого качества резки кристаллов можно достичь для кремниевых пластин толщиной 400–450 мкм. При больших толщинах разламывание затрудняется, могут появиться сколы, трещины. Возможно раскалывание не по риске.

Таблица. Основные параметры установки лазерной обработки ЭМ-4452-1

Наименование параметра	Значение параметра
Длина волны излучения лазера, нм	355
Энергия лазерного импульса, мкДж	10
Частота следования лазерных импульсов, кГц	10–300
Длительность импульса лазера, нс	1,5
Фокусное расстояние объектива, мм	65
Дискретность перемещения координатного стола, мкм	1
Погрешность позиционирования по координатам X, Y, мкм	5
Минимальный диаметр отверстия, мкм	20



Рис. 1. Установка лазерной обработки ЭМ-4452-1

Существуют следующие основные требования к процессу разделения пластин [1]:

- необходимость точной ориентации линий реза между кристаллами;
- обеспечение целостности элементов и металлизации микросхем за счет сведения к минимуму механических напряжений за линией реза;
- получение строго вертикальных плоскостей реза боковых сторон кристаллов;
- сохранение ориентации разделенных структур и обеспечение воспроизводимых в точности размеров и формы, что важно для автоматической сборки;
- получение минимальной ширины линии реза для увеличения выхода годных структур с данной площади подложки.

На первом этапе разделения пластины на кристаллы скрайбированием формируется концентратор напряжений по специально выделенным дорожкам в двух взаимно перпендикулярных направлениях либо зонах между рядами структур.

Методика лазерного разделения пластин

Для отработки режимов лазерного разделения использованы пластины из сапфира диаметром 50 мм и толщиной 450 мкм, а также диаметром 100 мм и толщиной 625 мкм. Ввиду малой стоимости пластины диаметром 50 мм применялись для отработки режимов лазерного скрайбирования, пластины 100 мм — для разработки конструкции и технологии изготовления силовых НЕМТ на заимствованных гетероструктурах GaN на сапфире. Отработка технологических режимов разделения пластин из сапфира на кристаллы проводилась на установке лазерной обработки ЭМ-4452-1 ОАО «ПЛАНАР» (рис. 1), основные параметры которой представлены в таблице [2].

Сфокусированное лазерное излучение позволяет выполнять лазерную микрообработку большого спектра материалов, поглощающих лазерное излучение УФ-диапазона (длина волны 355 нм). Управление установкой осуществляется при помощи промышленного компьютера. Рабочая программа создается



Рис. 3. Внешний вид планарной стороны кристаллов после разделения

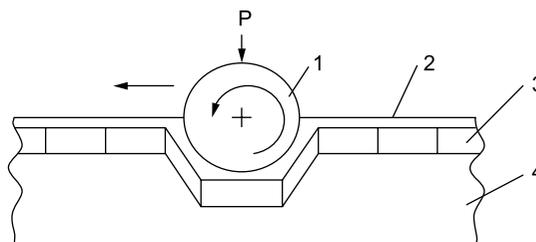


Рис. 2. Разламывание пластины на кристаллы валиком:

1 — валик; 2 — пленка; 3 — пластина; 4 — эластичное основание (резина)

с использованием меню установочных и технологических параметров установки и редактора AUTOCAD. Изображение обрабатываемого объекта посредством телевизионной системы выводится на дисплей компьютера. Лазерная микрообработка проводится сочетанием программно-управляемых перемещений обрабатываемой пластины по координатам X, Y, Z и перемещений лазерного луча гальваносканером в плоскости XY. Формирование реза происходит по траектории воздействия фокуса лазерного луча. Установка оснащена системой технического зрения с распознаванием обрабатываемых кристаллов пластин по их топологическому рисунку.

Разделение пластины по ослабленным рисками линиям на кристаллы после скрайбирования проводилось вручную. Для слома пластины на кристаллы по скрайберным рискам прикладывали к ней усилие изгиба, на рис. 2 схематически показано разламывание пластины на кристаллы валиком. Таким образом, разламывание происходит в две стадии: вначале на полоски, а затем на отдельные кристаллы.

Экспериментальные результаты

Исследован процесс скрайбирования пластин из сапфира диаметром 50 мм и толщиной 450 мкм для последующего разделения на кристаллы. Использованы следующие режимы работы лазера:

- частота следования лазерных импульсов: 300 кГц;
- мощность излучения: 10 мкДж (100%);

- скорость движения стола: 10 мм/с;
- количество проходов: 60.

В данных режимах получена скрайберная линия шириной 15 и глубиной 116 мкм. На рис. 3, 4 показан внешний вид планарной и обратной стороны кристаллов после разделения.

Как видно на рис. 3 и 4, линии реза на планарной стороне кристалла и линии разлома на обратной — ровные, без сколов и трещин.

На рис. 5 представлены результаты измерений ширины скрайберной линии и глубины скрайбирования для пластины диаметром 100 мм и толщиной 625 мкм в зависимости от мощности лазера при скорости движения стола 8 мм/с, частоте следования лазерных импульсов 300 кГц и количестве проходов стола 100.

Как видно на рис. 5, наибольшая глубина скрайберной линии (106 мкм) в заданных режимах образуется при 100%-ной мощности лазера, однако в процессе раскалывания пластины после скрайбирования на отдельных кристаллах с обратной стороны образовывались сколы размером до 300 мкм.

В процессе дальнейших исследований определен наиболее оптимальный режим скрайбирования, не приводящий к образованию больших сколов на обратной стороне кристалла. Этот режим имеет следующие характеристики:

- частота следования лазерных импульсов: 300 кГц,
- мощность излучения: 100%,
- скорость движения стола: 4 мм/с,
- количество проходов: 100.

При данных режимах была получена ширина скрайберной линии ~37 мкм, с глубиной ~130 мкм.

Следует отметить, что испаряющийся в процессе скрайбирования сапфир конденсируется вдоль всей линии реза (рис. 6), а отдельные частицы разлетаются на ширину до 400 мкм и более параллельно линии реза (рис. 7).

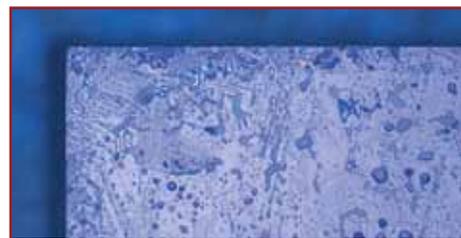


Рис. 4. Внешний вид обратной стороны кристалла после разделения

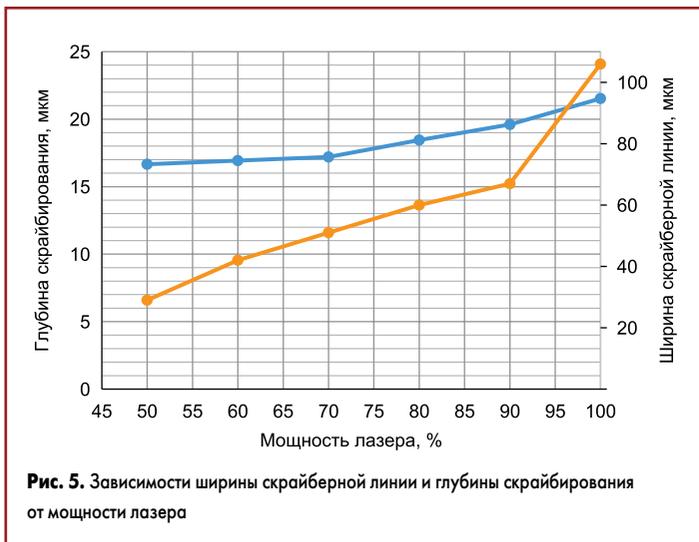


Рис. 5. Зависимости ширины скрайберной линии и глубины скрайбирования от мощности лазера

На рис. 8 показан внешний вид планарной стороны пластины после отмывки в ультразвуковой ванне с деионизованной водой.

Частицы сапфира почти полностью удаляются с поверхности кристаллов отмывкой (рис. 8), однако их остатки присутствуют внутри скрайбера, поэтому методику очистки кристаллов от испарившего сапфира еще предстоит отработать.

После разламывания пластины на отдельные кристаллы проведен анализ состояния обратной стороны — в основном край кристалла ровный (аналогично пластинам диаметром 50 мм), однако встречаются участки со сколами до 110 мкм (рис. 9).

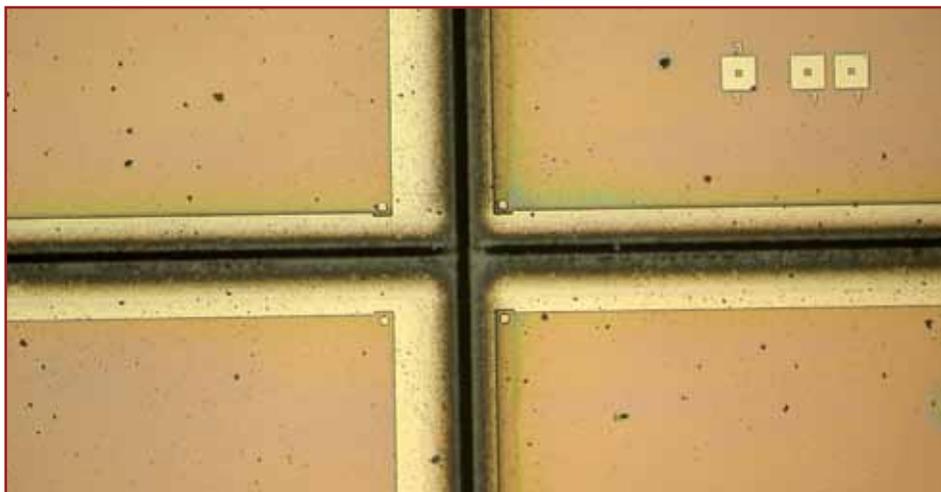


Рис. 6. Сконденсировавшийся сапфир вдоль линии скрайбирования

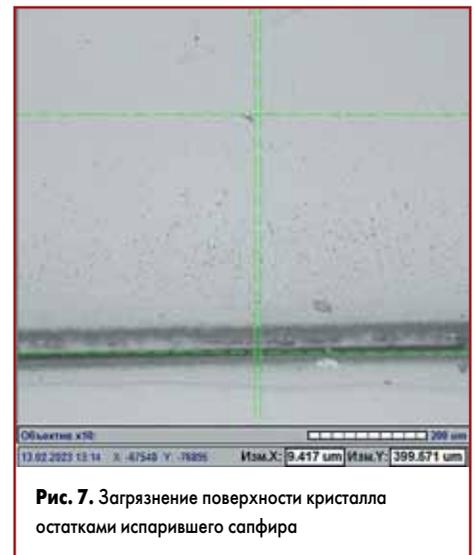


Рис. 7. Загрязнение поверхности кристалла остатками испарившего сапфира

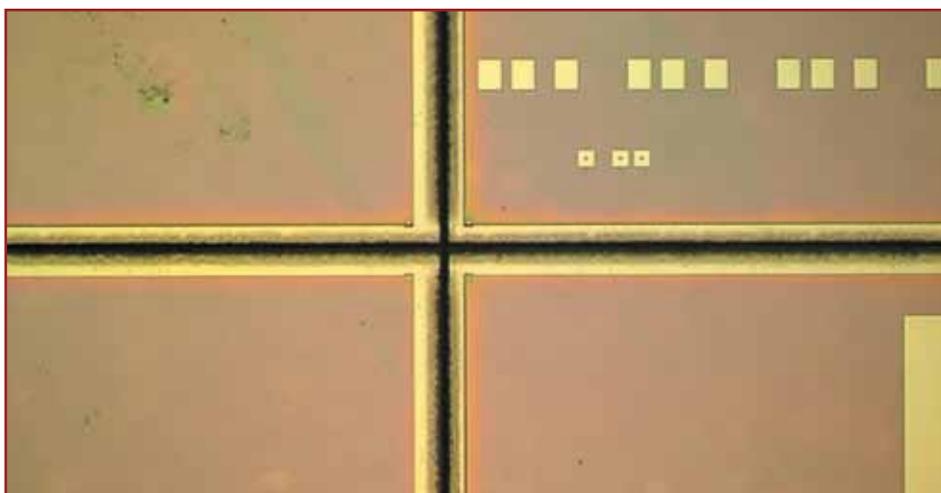


Рис. 8. Внешний вид планарной стороны пластины после отмывки в ультразвуковой ванне с деионизованной водой

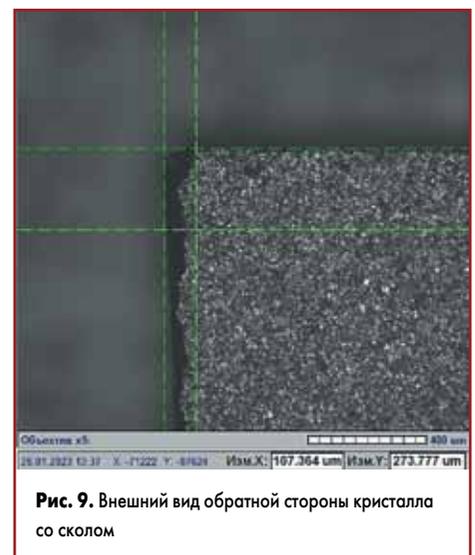


Рис. 9. Внешний вид обратной стороны кристалла со сколом

Таким образом, в результате отработки режимов разделения сапфировых пластин (диаметром 50 и 100 мм, толщиной 450 и 625 мкм соответственно) на кристаллы лазерным скрайбированием на установке ЭМ-4452-1 с последующим разделением на отдельные кристаллы, получены положительные результаты по качеству реза, однако еще предстоит решить вопросы очистки кристаллов от остатков испарившего сапфира.

Выводы

Методика разделения пластин из сапфира лазерным скрайбированием позволяет получить практически вертикальные боковые поверхности и минимальную ширину реза. Наиболее оптимальные результаты скрайбирования пластин из сапфира при ширине скрайберной линии 37 и глубине 130 мкм для последующего разделения на кристаллы получены при следующих режимах работы установки:

- частота следования лазерных импульсов: 300 кГц;
- мощность: 100%;
- скорость движения стола: 4 мм/с;
- количество проходов: 100 шт.

Линии реза на планарной стороне кристалла ровные с минимальными остатками испарившего сапфира.

Литература

1. Вакс Е. Д., Миленский М. Н., Сапрыкин Л. Г. Практика прецизионной лазерной обработки. М.: Техносфера, 2013.
2. Петухов И. Б., Ланин В. Л., Ретюхин Г. Е. Формирование отверстий в полупроводниковых материалах лазерной микрообработкой // Электронная обработка материалов. 2022. Т. 58. № 6.