

Н. В. Шаврук, науч. сотр., e-mail: kolq@mail.ru,

С. В. Редькин, канд. техн. наук, вед. науч. сотр., e-mail: sergeiredckin@yandex.ru,

А. А. Трофимов, мл. науч. сотр., e-mail: aa-trofimov@yandex.ru,

Н. Е. Иванова, инженер-исследователь,

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки

Институт сверхвысокочастотной полупроводниковой электроники Российской академии наук

А. С. Скрипниченко, вед. инженер,

ОАО Научно-исследовательский институт точного машиностроения, г. Зеленоград

В. С. Кондратенко, д-р техн. наук, проф., e-mail: vsk1950@mail.ru,

В. В. Стыран, лаборант, e-mail: st-slava@bk.ru,

Физико-технологический институт, Московский технологический университет

РАЗДЕЛЕНИЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПЛАСТИН ИЗ ТВЕРДОГО МАТЕРИАЛА НА КРИСТАЛЛЫ

Поступила в редакцию 21.10.2016

Проведены работы по разделению полупроводниковых пластин сапфира диаметром 52 мм и толщиной 90 мкм на отдельные кристаллы с помощью метода лазерного управляемого термораскалывания. Проведены исследования по резке поликристаллических алмазных пластин, в результате которых предложен метод фрагментирования пластин на кристаллы — лазерный плазмохимический метод резки.

Ключевые слова: *разделение сапфировых пластин, лазерное управляемое термораскалывание, лазерная плазмохимическая резка*

Введение

В полупроводниковой микроэлектронике твердые материалы пластин представлены в основном сапфиром, карбидом кремния и нитридом галлия. Сложность деления таких пластин на кристаллы объясняется не только твердостью и хрупкостью материала, но и тем, что при сформированных на пластине элементах и межэлементных соединениях требуется высокая точность деления, недостаток которой приводит к повышенному браку. Полученные кристаллы являются заготовками для производства полупроводниковых приборов, поэтому требования к качеству проведения операции деления высоки.

Разделение пластины на кристаллы осуществляется, как правило, на конечных стадиях производственного цикла, изготовление пластины — трудоемкий процесс, она имеет высокую стоимость, что определяет ответственность операции деления и ее важное место во всей технологической цепочке производства полупроводниковых приборов.

Вне зависимости от метода деления пластины на кристаллы основными требованиями к данной операции являются:

- высокий процент выхода годных кристаллов;
- высокая производительность оборудования;
- геометрическая точность кристаллов;
- низкий уровень сколов по краям кристаллов;
- экономичность.

Методы деления полупроводниковых пластин из твердого материала на кристаллы

Для деления полупроводниковых пластин на отдельные кристаллы ИСВЧПЭ РАН в сотру-

дничестве с партнерами применяет различные методы [1, 2].

Сквозное деление пластины на кристаллы методом дисковой резки при правильном подборе режимов резки и инструмента дает возможность получать резы без сколов и строго вертикальные грани кристаллов. Однако при некоторых условиях данный метод неприменим в силу высокой стоимости расходных материалов [1].

Использование для деления пластин метода лазерного управляемого термораскалывания (ЛУТ) [3, 4] обеспечивает высокую производительность и бездефектную кромку, повышающую прочность изделия в несколько раз.

С помощью метода ЛУТ реализовано деление сапфировых пластин (диаметром 52 мм, толщиной 90 мкм) со структурами на кристаллы. Резку пластин выполняли на лазерной установке МЛП1-1060/355. При резке пластин в первом направлении первоначально на краю пластины наносили короткие надрезы, обеспечивающие "зарождение" разделяющих трещин методом ЛУТ. При резке во втором направлении для обеспечения сквозных разделяющих трещин наносился неглубокий надрез по всей линии реза. При последующем нагреве линии надреза лазерным пучком CO₂-лазера и последующего охлаждения зоны нагрева с помощью хладагента происходит образование сквозной разделяющей трещины.

Скорость резки пластины методом ЛУТ составила 450 мм/с.

Для нанесения локальных надрезов длиной 150 мкм на краю пластины при резке в первом направлении и нанесения надрезов по всей длине ре-

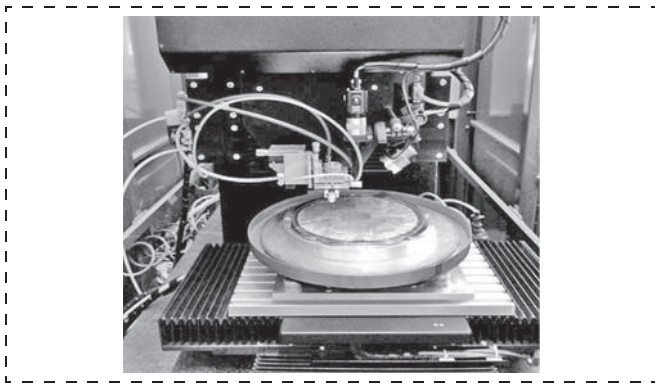


Рис. 1. Режущий модуль МЛП1-1060/355
Fig. 1. MLP1-1060/355 cutting module

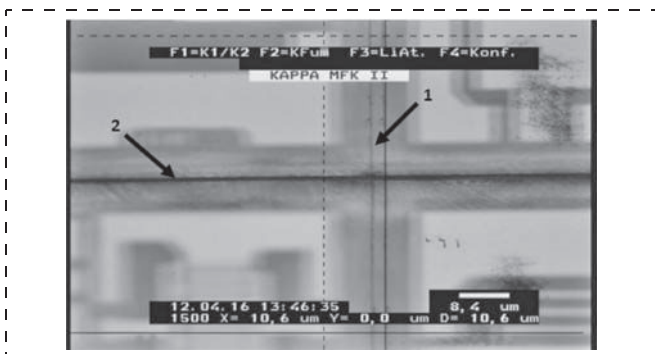


Рис. 2. Линии реза 1 пластины в первом направлении с помощью ЛУТ CO₂-лазером и линии реза 2 во втором направлении с предварительным надрезом УФ-лазером
Fig. 2. Cut line 1 of plate 1 in the first direction by means of LCT and CO₂ laser, and cut line 2 in the second direction with a preliminary notch done by UV laser

за во втором направлении использовали УФ-лазер с длиной волны излучения 355 нм. Глубина надреза составляет 12...15 мкм, а ширина надреза — 8...10 мкм. На рис. 1 показан режущий модуль, а на рис. 2 — результат разделения сапфировых пластин на отдельные кристаллы методом ЛУТ, который обеспечивает высокое качество в первом и втором направлениях.

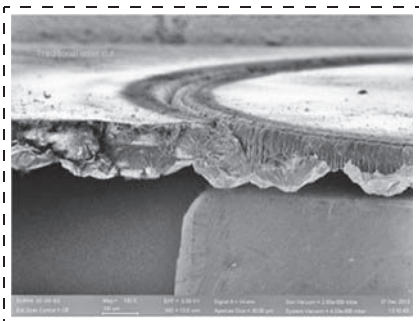


Рис. 3. Результат традиционной лазерной резки пластины из поликристаллического алмаза
Fig. 3. Result of a traditional laser cut of a plate from a polycrystalline diamond

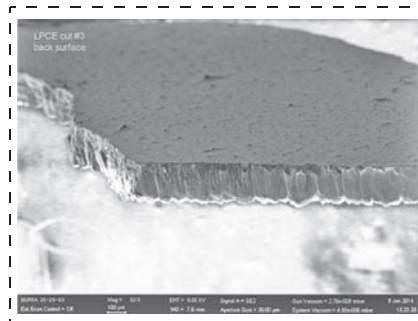


Рис. 4. Общий вид реза пластины из поликристаллического алмаза методом лазерной плазмохимической резки
Fig. 4. General view of the cut of a plate from a polycrystalline diamond by the method of laser plasma-chemical cutting

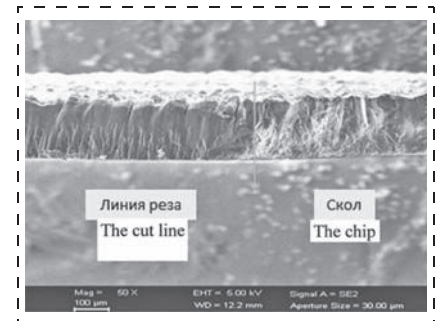


Рис. 5. Вид кристаллитов поликристаллической алмазной пластины после лазерной плазмохимической резки и скола
Fig. 5. View of the crystalline particles of the polycrystalline diamond plate after the laser plasma-chemical cutting and chipping

В ИСВЧПЭ РАН разработан новый метод фрагментирования пластин на кристаллы — лазерный плазмохимический метод резки. Суть метода лазерной плазмохимической резки заключается в том, что процесс проводится в плазме низкого давления в атмосфере газов, которые в ионизированном состоянии активно взаимодействуют с поверхностью полупроводниковой пластины из твердого материала и переводят его в летучие соединения, которые эвакуируются из реакционной камеры с помощью вакуумного насоса [5].

Плазма поджигается в фокусе лазерного луча и может перемещаться в нужном направлении по обрабатываемой поверхности либо с помощью оптической системы, либо посредством механического перемещения самого образца. Скорость резки по различным кристаллографическим осям практически одинакова. Данный метод лишен основного и наиболее важного недостатка традиционной лазерной резки (рис. 3), которым является выброс материала из области реза и его осаждение на уже сформированные приборные структуры, что абсолютно недопустимо при переходе к топологии приборов с наноразмерами [6].

В данном случае был использован лазер на парах меди с длиной волны 510,6 и 578,2 нм, частотой следования импульсов 10 кГц и длительностью импульсов 20 нс. Средняя мощность излучения в пучке составила 10 Вт, пиковая мощность излучения — 50 кВт, КПД 1 %; диаметр пучка 20 мм, пятно фокусировки 10 мкм, расходимость пучка, близкая к дифракционной.

В качестве плазмообразующей газовой среды использовали смесь CF₄ + O₂, а также смесь O₂ + Ar.

На рис. 4 и 5 представлены результаты лазерной плазмохимической резки алмазной поликристаллической пластины. Как можно заметить, резка данным методом обеспечивает отсутствие каких-либо посторонних углеродных материалов на поверхности пластины.

Рис. 5 демонстрирует сравнение результата лазерной плазмохимической резки (левая часть) и

скола пластины (правая часть). Как видно, они идентичны, что является доказательством отсутствия модификации поликристаллического алмаза в методе лазерной плазмохимической резки.

Заключение

При разделении пластин на отдельные кристаллы, содержащие сформированные полупроводниковые приборы, требуется высокая точность. Метод лазерного управляемого термораскалывания способен обеспечить высокую производительность и бездефектную кромку, благодаря чему повышается прочность изделия.

Достоинством метода лазерной плазмохимической резки в плазме низкого давления в атмосфере газов является отсутствие выброса материала из области реза и его осаждения на уже сформированные приборные структуры, что играет важную роль при переходе к топологии приборов с наноразмерами.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ (соглашение о предоставлении субсидии № 14.607.21.0011, уникальный идентификатор проекта RFMEF160714X0011).

Список литературы

1. **Щаврук Н. В., Трофимов А. А., Иванова Н. Е., Михалев А. О.** Разработка базовой технологии разделения пластин карбида кремния на кристаллы методом дисковой резки // *Материалы Международной научно-технической конференции, INTERMATIC-2015, часть 2, 1 — 5 декабря 2015 г., Москва, МИРЭА. С. 87—89.*
2. **Щаврук Н. В., Мальцев П. П., Трофимов А. А., Кондратенко В. С., Зобов А. К.** Разделение сапфировых пластин толщиной выше 300 мкм на кристаллы // *Сборник трудов 6-й Международной научно-практической конференции по физике и технологии наногетероструктурной СВЧ-электроники "Моковские чтения" 2015. М.: Изд. НИЯУ МИФИ, 2015. С. 54—55.*
3. **Патент РФ № 2404931, МКИ⁵ СОЗ В 33/09.** Способ резки пластин из хрупких материалов / В. С. Кондратенко, А. С. Наумов; Заявл. № 2009132338/03 от 28.08.2009. Опубл. 27.11.2010. Бюл. № 33.
4. **Кондратенко В. С., Голубятников И. В., Жималов А. Б.** Развитие теории и практики метода лазерного управляемого термораскалывания // *Приборы. 2009. № 12. С. 1—6.*
5. **Патент России RU 2537101.** Способ прецизионной лазерно-плазмохимической резки пластин / Аристов В. В., Мальцев П. П., Редькин С. В., Скрипниченко А. С., Павлов В. Ю. 27.12.2014. Бюл. № 36.
6. **Мальцев П. П., Редькин С. В., Скрипниченко А. С., Побойкина Н. В., Духновский М. П., Смирнова А. К.** Технология лазерной резки поликристаллических алмазных пластин // *Нано- и микросистемная техника. 2015. № 5 (178). С. 44—47.*

N. V. Shchavruk, Researcher, kolq_mail.ru, **S. V. Redckin**, Ph. D., Leading Researcher, sergeiredckin@yandex.ru, **A. A. Trofimov**, Junior Researcher, aa-trofimov@yandex.ru, **N. E. Ivanova**, Engineer-researcher, Institute Ultra High Frequency Semiconductor Electronics of the Russian Academy of Sciences, Moscow, 117105, Russian Federation, **A. S. Skripnichenko**, Leading Engineer, Scientific Research Institute of Precision Engineering, Zelenograd, **V. S. Kondratenko**, D. Sc., Professor, vsk1950@mail.ru, **V. V. Styran**, Laboratorian, st-slava@bk.ru, Moscow Technological University, Moscow, 119454, Russian Federation

Corresponding author:

Trofimov Aleksandr A., Junior Researcher, Institute Ultra High Frequency Semiconductor Electronics of the Russian Academy of Sciences, Moscow, 117105, Russian Federation, e-mail: aa-trofimov@yandex.ru

Splitting of Semiconductor Plates from Hard Materials into Crystals

*Received on October 21, 2016
Accepted on November 18, 2016*

Semiconductor plates of sapphire with diameter of 52 mm and thickness of 90 micrometers were split into separate crystals by means of the method of laser controlled thermosplitting. Research was done concerning cutting of the polycrystalline diamond plates, as a result of which the method of fragmentation of plates into crystals was offered — the laser plasma-chemical method of cutting.

Keywords: *splitting of sapphire plates, laser controlled thermosplitting, laser plasma-chemical cutting*

For citation:

Shchavruk N. V., Redckin S. V., Trofimov A. A., Ivanova N. E., Skripnichenko A. S., Kondratenko V. S., Styran V. V. Splitting of Semi-Conductor Plates from Hard Materials into Crystals, *Nano- i Mikrosistemnaya Tekhnika*, 2017, vol. 19, no. 3, pp. 317—320.

DOI: 10.17587/nmst.19.317-320

Introduction

In the semiconductor microelectronics the hard materials of plates are represented basically by sapphire and silicon carbide. The problem with their splitting into crystals is determined by their hardness and fragility and also by the fact that the elements generated on a plate and the inter-element bonds require high precision of splitting, and lack of it results

in high waste. The received crystals are the preparations for manufacture of the semiconductor devices, therefore, the quality requirements to the splitting operation are very high.

As a rule, splitting of a plate into crystals is carried out at the final stages of the production cycle, at that, a plate comprises a lot of labor and material inputs, which determine its high cost and responsibility of the splitting, and its

important place in manufacture of the semi-conductor devices.

Regardless of the method of splitting of a plate into crystals, the basic requirements to the operation are the following:

- high percent of output of the suitable crystals;
- high efficiency of the equipment;
- geometrical precision of the crystals;
- low level of chipping along the edges of the crystals;
- economic efficiency.

Methods of splitting of the semi-conductor plates from hard materials into crystals

IUHFE of RAS in cooperation with partners applies various methods of splitting of the semi-conductor plates into separate crystals [1, 2].

Through splitting of a plate into crystals by a disk cutting with a correct selection of the modes and tools gives a chance to receive cuts without chipping and with strictly vertical sides of the crystals. However, under certain conditions the method is inapplicable, because of the high costs of the expendable materials [1].

Use of the laser controlled thermosplitting (LCT) [3, 4] ensures high efficiency and faultless edge, several times increasing the products' durability.

By means of LCT splitting of the sapphire plates (with diameter of 52 mm, thickness of 90 μm) with structures into crystals was realized. The cutting was done on MLP1-1060/355 installation. During cutting of plates in the first direction, originally, on the brink of a plate short notches were done ensuring "origin" of the dividing cracks by LCT method. During cutting in the second direction, in order to ensure through dividing cracks, a superficial notch was done along all the line of a cut. As a result of the subsequent heating of the line of the cut by CO_2 laser beam and subsequent cooling of the zone of heating by means of a coolant a through dividing crack was formed. The speed of cutting of the plate by LCT method was 450 mm/s.

For making of local notches with the length of 150 micrometers on the brink of a plate during cutting in the first direction and making notches along all the length of the cut in the second direction an UV laser was used with the wavelength of radiation of 355 nm. The depth of the notch was 12–15 μm , and its width — 8–10 μm . Fig. 1 demonstrates the cutting module, and fig. 2 — the result of splitting of the sapphire plates into separate crystals by LCT method, which ensured high quality, both in the first and in the second directions.

IUHFE of RAS developed the method of fragmentation of plates into crystals — the laser plasma-chemical method of cutting. The essence of the method is that the process takes place in a low pressure plasma, in the atmosphere of gases, which, in the ionized state, interact actively with the surface of the semiconductor plate from a hard material and transform it into the volatile compounds, which are evacuated from the reaction chamber by means of a vacuum pump [5].

Plasma is ignited in the focus of a laser beam and can move in the necessary direction on the processed surface, either by means of an optical system, or by means of a mechanical movement of the sample itself. The speed of cutting via various crystallographic axes is practically the same. The method is free of the basic and most important drawback of the traditional laser cutting, which is emission of a material from the area of cutting and its sedimentation on the formed

instrument structures, which is absolutely inadmissible in transition to topology of the nanosized devices [6].

In the given case it was a copper vapor laser with the wavelength of 510.6 nm and 578.2 nm, pulse repetition frequency of 10 kHz and duration of pulses of 20 ns. The average radiation power in the beam was 10 W, the peak radiation power — 50 kW, coefficient of efficiency — 1 %, beam diameter — 20 mm, focusing spot — 10 μm , and the beam divergence was close to the diffraction one. As the plasma-forming gas environment $\text{CF}_4 + \text{O}_2$ mixture was used and also mixture of $\text{O}_2 + \text{Ar}$.

Fig. 4 and 5 present the results of the laser plasma-chemical cutting of a diamond polycrystalline plate. As it is possible to notice, the given method of cutting ensures absence of extraneous carbon materials on the plate surface.

Fig. 5 demonstrates comparison of the result of the laser plasma-chemical cutting (left part) and chip of the plate (right part). Apparently, they are identical, which proves absence of modification of the polycrystalline diamond in the method of laser plasma-chemical cutting.

Conclusion

Splitting of plates into separate crystals containing the formed semiconductor devices requires high precision. The method of the laser controlled thermosplitting can ensure high efficiency and a faultless edge, which improves durability of the products.

An advantage of the method of the laser plasma-chemical cutting in a low-pressure plasma and in a gas atmosphere is the absence of the material exhausted from the cut area and of its sedimentation on the already formed instrument structures, which plays an important role in transition to the topology of the nanosized devices.

The work was done with the financial support of the Ministry of Education and Science of the Russian Federation (grant agreement № 14.607.21.0011, unique project identifier — RFMEF160714X0011).

References

1. Shchavruk N. V., Trofimov A. A., Ivanova N. E., Mihalev A. O. Razrabotka bazovoy tehnologii razdeleniya plastin karbida kremniya na kristally metodom diskovoy rezki, *Materialy Mezhdunarodnoj nauchno-tehnicheskoy konferencii*, Moskva, INTERMATIC — 2015, 1–5 dekabrja 2015. Part 2, Moscow, MIRJeA, pp. 87–89 (in Russian).
2. Shchavruk N. V., Mal'cev P. P., Trofimov A. A., Kondratenko V. S., Zobov A. K. Razdelenie sifirovyyh plastin tolshhinoj vyshe 300 mkm na kristally, *Sbornik trudov 6-th Mezhdunarodnoj Nauchno-Prakticheskoy konferencii po fizike i tehnologii nanogeterostrukturoj SVCh-jelektroniki "Mokerovskie chtenija"* — 2015. Moskva — NIJaU MIFI, 2015, pp. 54–55 (in Russian).
3. Patent RF № 2404931, MKI5 SO3 V 33/09. *Sposob rezki plastin iz hrupkih materialov*, V. S. Kondratenko, A. S. Naumov, Zajakl. № 2009132338/03 ot 28.08.2009; Opubl. 27.11.2010, Bjul. no. 33 (in Russian).
4. Kondratenko V. S., Golubjatnikov I. V., Zhimalov A. B. Razvitie teorii i praktiki metoda lazernogo upravljajemogo termoraskalyvaniya, *Pribory*, 2009, no. 12, pp. 1–6.
5. Patent Rossii RU 2537101. *Sposob precizionnoj lazernoplazmohimicheskoy rezki plastin*, Aristov V. V., Mal'cev P. P., Red'kin S. V., Skripnichenko A. S., Pavlov V. Ju., 27.12.2014. Bjul. no. 36 (in Russian).
6. Mal'cev P. P., Red'kin S. V., Skripnichenko A. S., Pobojkina N. V., Duhnovskij M. P., Smirnova A. K. Tehnologija lazernoj rezki polikristallicheskihalmaznyh plastin, Nano- i mikrosistemnaja tehnika, 2015, no. 5 (178), pp. 44–47 (in Russian).

Адрес редакции журнала: 107076, Москва, Стромьинский пер., 4. Телефон редакции журнала (499) 269-5510. E-mail: nmst@novtex.ru
Журнал зарегистрирован в Федеральной службе по надзору за соблюдением законодательства в сфере массовых коммуникаций и охране культурного наследия.
Свидетельство о регистрации ПИ № 77-18289 от 06.09.04.

Технический редактор Т. А. Шацкая. Корректор Е. В. Комиссарова.

Сдано в набор 21.03.2017. Подписано в печать 25.04.2017. Формат 60×88 1/8. Заказ МС0517. Цена договорная
Оригинал-макет ООО «Авансед солюшнз». Отпечатано в ООО «Авансед солюшнз». 119071, г. Москва, Ленинский пр-т, д. 19, стр. 1. Сайт: www.aov.ru