



ВРЕМЕННОЕ СРАЩИВАНИЕ ПЛАСТИН – КЛЮЧЕВАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ДЛЯ МЭМС-УСТРОЙСТВ

TEMPORARY WAFER BONDING – KEY TECHNOLOGY FOR MEMS DEVICES

УДК 621.382.2/.3; ВАК 05.27.06

Д.Вюнш¹, Л.Пурвин¹, Р.Мартинка¹, И.Шуберт¹, Р.Юнганс¹, М.Баум¹, М.Виер¹, Т.Отто^{1,2} / dirk.wuensch@enas.fraunhofer.de

D.Wuensch¹, L.Purwin¹, L.Biittner¹, R.Martinka¹, I.Schubert¹, R.Junghans¹, M.Baum¹, M.Wierner¹, T.Otto^{1,2}

Утонение после временного сращивания полупроводниковых пластин – ключевая технология 3D-интеграции датчиков и электронных компонентов для получения миниатюрных систем. Обработка ультратонких кремниевых пластин является сложным процессом, поэтому были разработаны различные технологии их временного сращивания с носителем для стабилизации и защиты пластин во время производственных операций. Авторы протестировали два таких метода: BrewerBOND с механическим разделением и ZoneBOND с химическим/механическим разделением. В данной работе представлено подробное описание шагов подготовки полупроводниковой пластины, временного сращивания и разделения (дебондинга) пластины и носителя. Метод ZoneBOND предполагает центрифужное нанесение адгезионного состава на полупроводниковую пластину и позволяет проводить процессы при температуре до 250°C. Носитель покрывается другим адгезивом по краю пластины, а на его центральную область наносится антиадгезионный слой. Этот процесс позволяет утонять 200 мм пластины до 50 мкм. Помимо метода ZoneBOND протестирован новый материал компании Brewer Science. Для разделения используется простое в интеграции механическое устройство. Благодаря покрытию всей поверхности полупроводниковой пластины и носителя этот процесс является простым решением при необходимости утонения пластин до 50 мкм. Адгезионный состав BrewerBOND 305 защищает структуры от повреждения во время склеивания пластин. Данный материал позволяет проводить обработку задней стороны при температуре 250–300°C. На носитель наносится антиадгезионный материал BrewerBOND 510, который позволяет выполнять механический дебондинг без дополнительной лазерной или химической обработки.

Back thinning after temporary wafer bonding is a key technology for 3D integration of sensors and electronic components to obtain miniaturized systems. Ultrathin silicon wafers are difficult to handle therefore various temporary bonding approaches have been developed to stabilize and protect them during the subsequent fabrication steps. We have characterized two of these methods: the BrewerBOND with a mechanical release and ZoneBOND with a combined chemical/mechanical release. This paper presents a detailed description of the wafer preparation steps, temporary bonding and debonding processes. The ZoneBOND method involves the spin coating of a wafer with an adhesive and tolerate processes up to 250°C. The carrier is coated with another adhesive at the wafer edge. The area in the center of the carrier is with an anti-sticking layer. With this process, a thinned 6-inch wafer down to 50 µm can be fabricated. Beside the ZoneBOND new material by Brewer Science was tested. An easy to integrate mechanical release is used. Two silicon substrates were bonded with polished front side, without structure and with an edge trim on the front side of the device wafer. The coating on full surface of device and carrier wafer makes it to an easy solution for thinning down to 50 µm. Device preparation with an adhesive BrewerBOND 305 saves the structures and prevents from destroying them during the bonding. The material enables backside processing at 250–300°C. The carrier is coated with the release material BrewerBOND 510, which allows a mechanical debonding without additional processes.

¹ Институт электронных наносистем Фраунгофера, Хемниц, Германия / Fraunhofer Institute for Electronic Nanosystems, Chemnitz, Germany.

² Хемницкий технологический университет, Хемниц, Германия / Chemnitz University of Technology, Chemnitz, Germany.

Эффективная терморегуляция и высокая плотность переходных отверстий в кремнии благодаря меньшему отношению сторон – это лишь некоторые из преимуществ утоненных пластин. Однако, уменьшение толщины пластин существенно осложняет их обработку. Ультратонкие кремниевые пластины толщиной менее 50 мкм имеют низкую устойчивость, низкую жесткость при изгибе, кроме того, их нельзя перемещать с помощью стандартного технологического оборудования. Поэтому при их изготовлении, а также для стабилизации во время механической обработки/перемещения, используется временная фиксация пластины со структурой на пластиненосителе [1].

Для утонения используются процессы шлифования, травления и полировки. Двухэтапная шлифовка (грубая и тонкая) удаляет большую часть кремниевого слоя и приводит к образованию дефектов на поверхности. Их можно устранить с помощью жидкостного травления с одновременным восстановлением кристаллической решетки. Последующая химико-механическая полировка позволяет получить идеальную поверхность с $Ra < 1$ нм.

Один из способов обработки тонких пластин был предложен компанией Brewer Science. Он включает в себя центрифужное нанесение адгезива на полупроводниковую пластину, а на носитель наносится анти-адгезионный материал для упрощения отделения утоненной пластины

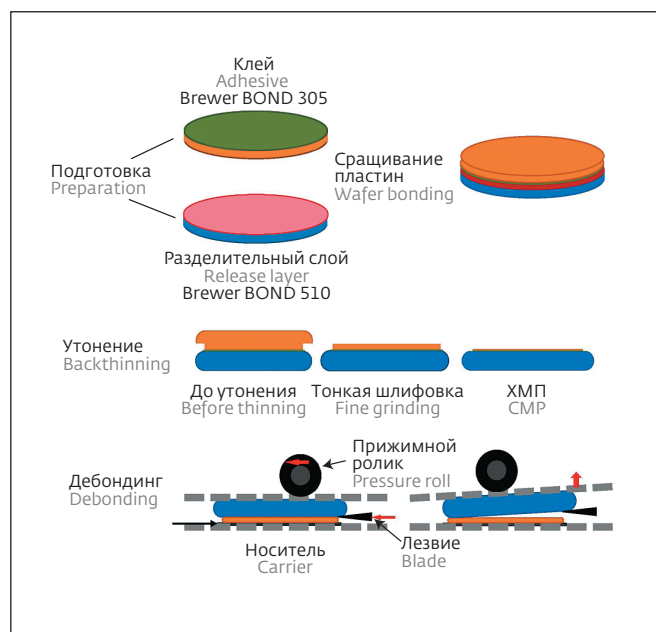


Рис.1. Схема процесса временного сращивания по технологии компании Brewer Science

Fig.1. Process flow for the Brewer Science temporary wafer bonding technology

в процессе дебондинга. На рис.1 изображена схема процесса обработки тонких пластин, который рассмотрен в данной работе. Сначала происходит подготовка полупроводниковой пластины и носителя. Затем проводится временное сращивание, утонение и химико-механическое разделение.

In near future new solutions are required for miniaturized electronic systems with higher performance, lower cost and reduced thickness down to some 10 μm [1]. Wafer thinning is one of these promising solutions which facilitates 3D integration of sensors or electronic systems. These systems consist of individual components, which are vertically stacked and have electrical connections. 3D integration requires the wafer thinning of both MEMS and CMOS devices. Efficient thermal management and a high through silicon via (TSV) density due to lower aspect ratio are some of the advantages of thinned wafers.

Compared to thick wafers, the handling of thin wafers is challenging. Ultrathin silicon wafers down to 50 microns have low stability, low bending stiffness and cannot be handled with standard wafer processing equipment. In order to enable the fabrication of thin Si substrates or to stabilize them during the mechanical processing, it is necessary to temporarily attach these device wafers to carrier wafers [1]. For thinning process, grinding, etching and polishing are used. Grinding in two steps (rough and fine) removes most of Si material and leads to surface defects and imperfections. With a subsequent Si wet etching, these

imperfections can be removed and the crystal lattice are restored. Finally the chemical mechanical polishing (CMP) generates a perfect surface with $Ra < 1$ nm. One method for thin wafer handling is provided by Brewer Science. This method involves spin coating of device wafer with an adhesive. The carrier is coated with a release material to remove the thinned wafer in a debonding process. Figure 1 shows the process flow for the thin wafer handling technology used in this work. First the device and carrier wafers are prepared. The wafers are then temporarily bonded and the subsequent back thinning is performed and

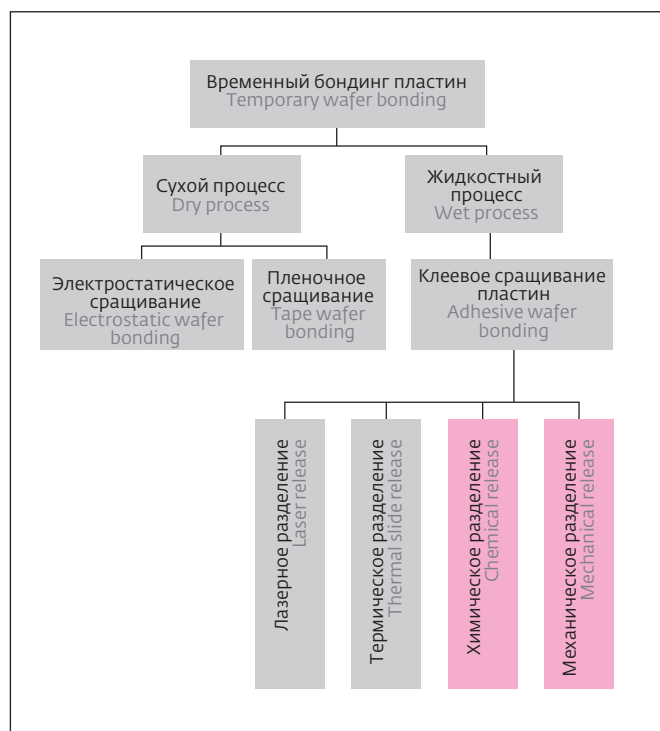


Рис. 2. Обзор различных технологий временного сращивания
Fig.2. Overview of different temporary bonding technologies

В целом, все технологии сращивания пластин делятся на жидкостные и сухие [2]. Адгезивное сращивание относится к группе жидкостных технологий с широким выбором методов для дебондинга. К последним относятся термическое, химическое, лазерное и механическое

finally the mechanical debonding takes place.

Usually, temporary wafer bonding technologies are divided into wet and dry techniques [2]. For each group several specific technologies are available. Adhesive bonding technology falls into the group of wet process with different methods for the final debonding. The different approaches are: thermal slide, chemical, laser and mechanical release. Fig.2 shows an overview for different temporary wafer bonding methods separated into wet and dry processes.

In temporary wafer bonding there are some traditional methods

such as thermal slide release approach. New technologies now focus on room temperature debonding processes. Here Brewer Science provided the ZoneBOND technology, which is a combination of chemical and mechanical release. The main part of this technology is that the carrier is separated in two zones. During the bonding process, two zones are formed. In the middle of the wafer, there is a fragile adhesive region (zone 1). In contrast to the zone 1, there is a strong adhesive area on the wafer edge (zone 2). Beside the ZoneBOND material Brewer Science provides new materials with different requirements

разделение. На рис.2 представлено краткое описание различных методов временного сращивания при жидкостной и сухой обработке.

К традиционным методам временного сращивания полупроводниковых пластин относится, например, разделение под воздействием температуры. Современные же технологии направлены на разработку методов дебондинга при комнатной температуре. К ним относится ZoneBOND, предложенный компанией Brewer Science, который является комбинацией химического и механического разделения. Основная идея данной технологии заключается в том, что носитель делится на две зоны: в центре формируется область слабого адгезива (зона 1), а по краю – область сильного адгезива (зона 2).

Помимо ZoneBOND компания Brewer Science предлагает новые материалы под различные требования процессов сращивания и разделения. В методе BrewerBOND используется лазерное или механическое разделение. Лазерное разделение оказывает очень слабое воздействие на утоненную пластину, но может проводиться только со стеклянным носителем, прозрачным для лазерного излучения в диапазоне 270 нм и 360 нм. Адгезивные материалы, которые используются в методах ZoneBOND и BrewerBOND, перечислены в табл.

При механическом разделении пластин требуется силовое воздействие. Преимуществами механического разделения являются низкие расходы, а также возможность использовать

for the adhesive wafer bonding and de bonding processes. The BrewerBOND method employs either laser release or mechanical release. The laser release results in very low stress for the thinned substrate, but is only feasible with glass material which is transparent to laser irradiation between 270 nm and 360 nm wavelengths. The adhesive bonding materials used for ZoneBOND and new BrewerBOND are listed in Table.

The mechanical release needs an additional de bonding force to separate the wafers. The advantages of mechanical release are the low costs as well as the possibility of

Адгезивные материалы для методов ZoneBOND и BrewerBOND

Bonding materials for BrewerBOND and ZoneBOND technologies

Технология Technology	Материал Material
BrewerBOND	Антиадгезионные материалы для носителя: BrewerBOND 701, BrewerBOND 510. Адгезионный материал для срачивания пластин: BrewerBOND 305 Release material for carrier wafer: BrewerBOND 701, BrewerBOND 510. Adhesive bonding material for device wafer: BrewerBOND 305
ZoneBOND	Антиадгезионный материал для носителя: ZI 3500-02 для зоны 1; EM 2320-15 для зоны 2. Адгезионный материал для срачивания пластин: ZoneBOND 5150-30 Release material for carrier wafer: ZI 3500-02 for zone 1; EM 2320-15 for zone 2. Adhesive bonding material for device wafer: ZoneBOND 5150-30

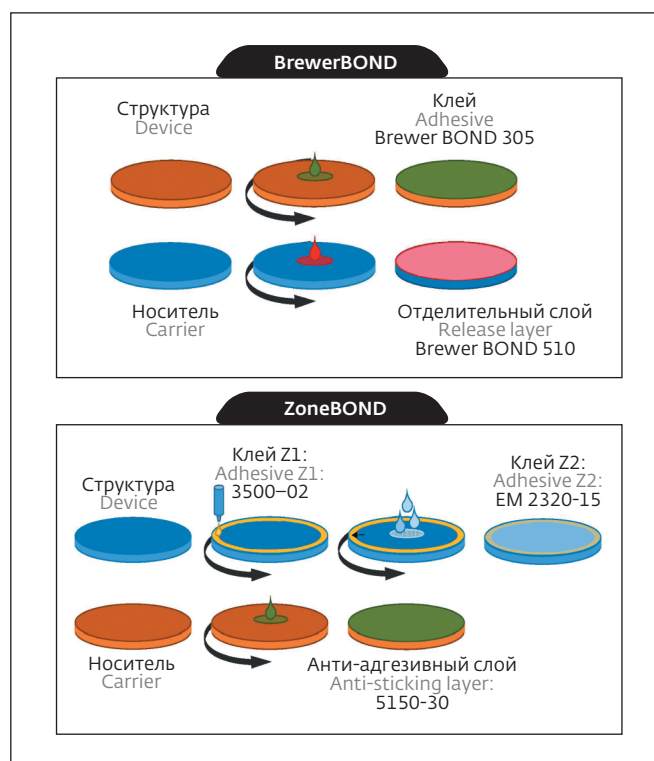


Рис.3. Сравнение технологий BrewerBOND и ZoneBOND
 Fig.3. Comparison between BrewerBOND and ZoneBOND technology

различные типы адгезионного материала. Технологический процесс при механическом разделении гораздо проще, чем при методе ZoneBOND, так как на всю поверхность носителя наносится одинаковый антиадгезионный слой. В результате отсутствует необходимость в жидкостном химическом травлении или лазерной обработке перед дебондингом.

По сравнению с методом ZoneBOND технология BrewerBOND имеет более простые подготовительные шаги. Сравнительный обзор данных технологий представлен на рис.3.

using different types of adhesive material. The process flow is significantly simplified compared to ZoneBOND in which the anti-sticking layer is coated on the complete carrier wafer. As a result the wet chemical etch or the laser release before de-bonding is not required. In comparison to ZoneBOND method the BrewerBOND technology has simple preparation steps. The comparative overview of these technologies is shown in Fig.3.

EXPERIMENTAL

Before starting the wafer coating it is necessary to do an edge trim of the device wafer. Previous results

shown, that the wafer edge is less susceptible for damage. The edge trim width is 2 mm with a depth of 260 μm. Fig.4 shows the wafer edge after the edge trim of an 8-inch wafer. After the thinning step the wafer diameter is reduce by 4 mm.

Experimental results using ZoneBond material

Spin coating of the device and the carrier wafers is carried on the semi-automatic RCD8 spin coater from SUSS MICROTREC. The device wafer is prepared by the deposition of the thermoplastic adhesive (ZoneBOND 5150-30). The subsequent curing takes place at 230°C

for 2min. The viscosity of the adhesive is 10000 centipoise high. The adhesive layer thickness depends on chuck rotating speed. A layer thickness of around 20 μm requires a rotating speed of 1600 revolutions/min with a dispensing quantity of around 5-10 ml (Fig.5).

The first step of the carrier wafer fabrication on the RCD8 is forming of a zone on the wafer edge with the adhesive ZoneBOND EM 2320-15. An exact centering of the carrier wafer on the vacuum chuck is important to get uniform coating on the wafer edge zone. The thickness of the layer is in the range of 0.5-3 μm. After baking at 220°C, an anti-stick

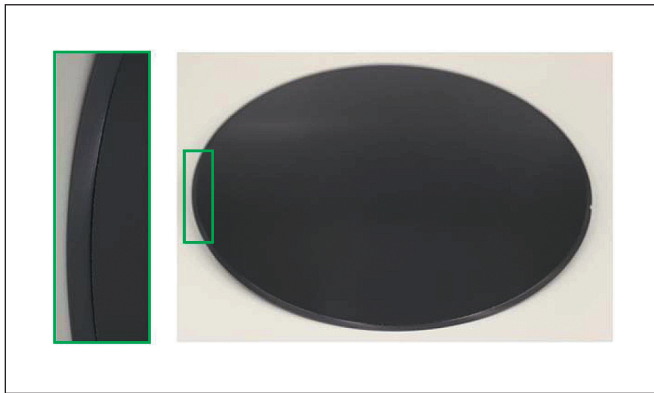


Рис.4. 200 мм пластина после обработки края

Fig.4. 8-inch wafer after edge trim

ИСПЫТАНИЯ

Перед нанесением покрытия на полупроводниковую пластину необходимо удалить часть ее кромки со структурой. Предыдущие результаты показывали, что край пластины мало подвержен повреждениям.

Удаление кромки производится на ширину 2 мм и глубину 260 мкм. На рис.4 изображен край 8-дюймовой пластины после обработки. После обработки диаметр полупроводниковой пластины уменьшится на 4 мм.

Опыт с использованием материала ZoneBond

Центрифужное нанесение покрытия на пластину со структурой и на носитель выполняется на полуавтоматической системе RCD8 от SUSS

layer (ZoneBOND ZI 3500-02) is dispensed on the center of the carrier wafer. Compared to 400 centipoise of ZoneBOND EM 2320-15 the viscosity of the anti-stick layer is only 50 centipoise. Compared to the device wafer preparation the adhesive layer thickness of the carrier wafer depends on chuck rotating speed. A Layer thickness of around 2 μm requires a rotating speed of 300 revolution/m in with a dispensing quantity of around 1.5 ml. The adjusting adhesive width is around 1.5 mm (Fig.6).

The subsequent adhesive wafer bonding is realized by using a SUSS MicroTec SB8 wafer bonder.

The adhesive wafer bonding is carried out under low vacuum (process pressure < 5 mbar) with a 170 kN/m² bonding pressure using a bonding temperature of 200°C. Figure 7 shows the wafer stack on a 6inch fixture and the formed intermediate layer with approximately 30 μm thickness after the adhesive wafer bonding in the SB8e.

One way to characterize the quality of the bonding interface is infrared microscopy. Fig.8 shows two examples after the adhesive wafer bonding process.

The left one shows clearly visible voids between the bonding partners. In contrast, in the bonding

interface on the right side no voids are detectable. In previous work 5 to 5 mm structures are used to evaluate the bond strength by applying an increasing shear force until the interface cracks. A maximum shear strength around 8MPa with a dicing yield more than 90% was obtained for the strong adhesive zone (Fig.9). Compare to zone 2, the yield and the bonding strength of zone 1 is very low.

After chemical, mechanical and thermal processes ($T < 250^\circ\text{C}$), the edge zone of the strong adhesive area is released with mesitylene. Then, the wafer stack with the device wafer face down is mounted

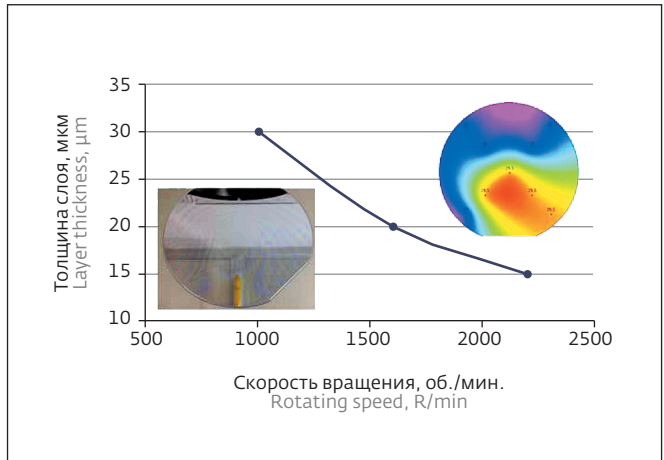


Рис.5. Зависимость толщины слоя от скорости вращения, определенная на n/n пластине с однородным покрытием и толщиной слоя 30 мкм.

Fig.5. Layer thickness dependence on the rotating speed including homogeneous coated wafer and measured 30 μm layer thickness

MicroTec. Полупроводниковая пластина подготавливается с помощью осаждения термопластичного адгезива ZoneBOND 5150-30. После этого выполняется задубливание материала при температуре 230°C в течение 2 мин. Вязкость адгезива составляет 10000 сП. Толщина слоя адгезива зависит от скорости вращения держателя. Для создания слоя толщиной 20 мкм требуется скорость вращения 1600 об./мин. и примерно 5-10 мл материала (рис.5).

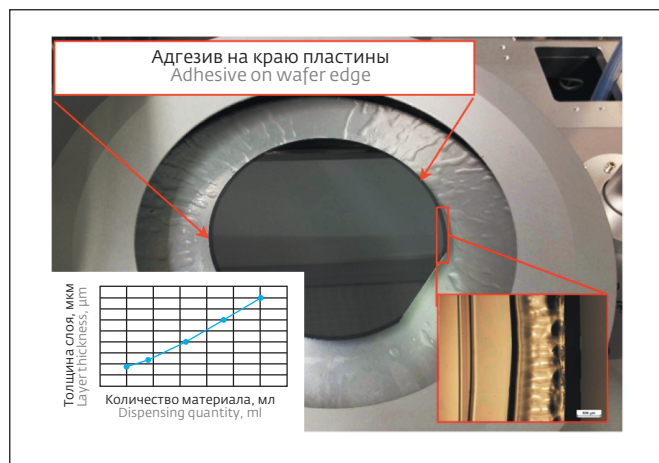


Рис.6. Пластина-носитель после нанесения адгезива на край, а также зависимость толщины слоя от наносимого количества материала при постоянной скорости вращения 300 об./мин.
 Fig.6. Carrier wafer after coating with adhesive on wafer edge including layer thickness dependence on the dispensing quantity with constant rotating speed of 300 R/min

Первым шагом в подготовке пластины-носителя на системе RCD8 является формирование зоны на краю полупроводниковой пластины с помощью адгезива ZoneBOND EM 2320-15. Чрезвычайно важно обеспечить точное центрирование носителя на вакуумном держателе для получения однородного покрытия по краю пластины. Толщина слоя составляет 0,5–3,0 мкм. После сушки при температуре 220°C в центр носителя наносится слой антиадгезионного

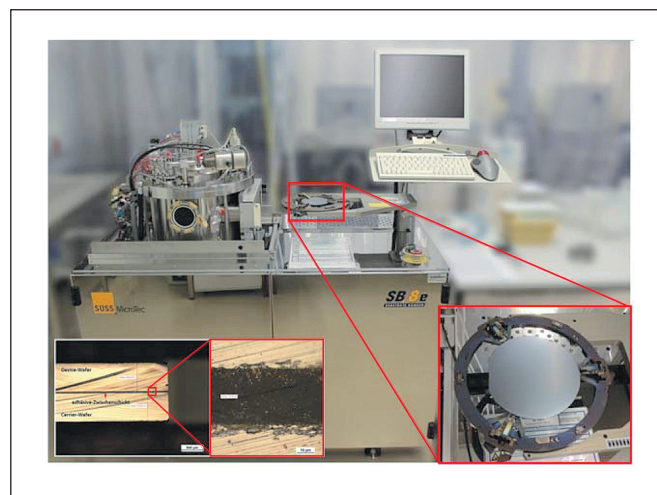


Рис.7. Адгезионное сращивание пластин со сформированным промежуточным слоем в установке SUSS SB8e
 Fig.7. Adhesive wafer bonding on SUSS SB8e substrate bonder with formed intermediate layer

материала ZoneBOND ZI 3500-02. Вязкость слоя антиадгезионного материала составляет всего 50 сП в сравнении с 400 сП для ZoneBOND EM 2320-15. Как и в случае подготовки полупроводниковой пластины, толщина слоя на носителе зависит от скорости вращения держателя. Для того чтобы получить слой толщиной 2 мкм, требуется скорость вращения 300 об/мин при нанесении 1,5 мл материала. Ширина адгезива составила примерно 1,5 мм (рис.6).

on a tape frame and placed in the SUSS de-bonding system DBI 2T.

In the DBI 2T, the mounted wafer stack is fixed on both sides by vacuum. The mechanical separation of device and carrier wafers is done over the C-cut at the wafer edge. The carrier wafer is clamped over the blade and vertically moved on a flex plate over power cylinder at room temperature. A pressure roll is moving backwards and control the speed of debonding procedure. The schematic drawing including a picture of the DB 12T is shown Fig.10 and Fig.17.

In the final step, the device wafer on the mounted tape frame and the

carrier wafer are cleaned in a combined puddle dispense- und spray process. Similar to the edge release process, the cleaning is performed in the SUSS MicroTec AR12 module. The used chemistry is limonene or mesitylene with a subsequent isopropanol rinse. With this process flow, a thinned wafer down to 50 μm can be fabricated (Fig.11).

In the cleaning step the wafer is rinsed with mesitylene. In puddle dispense process the arm rotate from right to left side for two seconds supported with ultrasonic. The solvent remove the adhesive from the wafer. The cleaning process needs to be as short as possible,

because the UV-sensitive tape decomposed by the solvent mesitylene. The puddle dispense eliminate the whole adhesive layer in 15 min.

The tape loses their adhesive strength after 30 min in mesitylene bath. But the thinned wafer needs the tension of the tape (Fig.12).

Experimental results using BrewerBond material

The first step of the device wafer processing on the RCD8 is the coating with the adhesive BrewerBOND 305 material. BrewerBOND 305 is a polymer material with a viscosity of 6700 centipoise. Challenging is

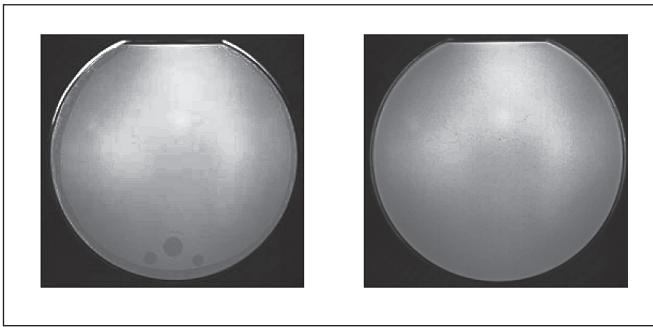


Рис.8. ИК-изображение после адгезионного сращивания с дефектами (слева) и без дефектов (справа)

Fig.8. IR-Detection after adhesive wafer bonding with (left) and without (right) defects

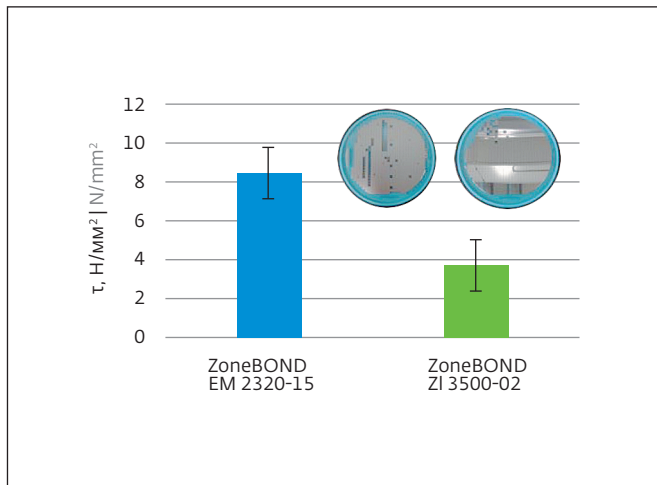


Рис.9. Прочность зон на сдвиг

Fig.9. Shear strength of zones

Последующее адгезивное сращивание проводится с помощью системы SUSS MicroTec SB8. Процесс протекает при невысоком вакууме (<5 бар) с давлением сращивания 170 кН/м² при температуре 200°C. На рис.7 изображена сборка пластины на носителе на 200 мм держателе с нанесенным промежуточным слоем толщиной примерно 30 мкм после сращивания в SB8e.

Одним из способов оценки качества поверхности сращивания является микроскопия в инфракрасном свете. На рис.8 представлены два примера пластин после сращивания. На левом изображении видны пустоты между склеенными пластинами, в то время как справа такие пустоты отсутствуют. Для оценки прочности склеивания использовались образцы 5×5 мм, к которым была приложена поперечная сдвигающая сила до появления трещин на поверхности склеивания. В зоне высокой адгезии при приложении поперечной сдвигающей силы был получен результат около 8 МПа с выходом годных кристаллов более 90% (рис.9). В зоне 1 прочность склеивания и выход годных кристаллов очень низкие по сравнению с зоной 2.

После химической, механической и термической ($T < 250^\circ\text{C}$) обработок с краевой зоны с помощью мезитилена удаляется адгезионный слой. Затем сборка носителя с полупроводниковой пластиной, обращенной лицевой стороной вниз, монтируется на рамку с пленкой и помещается в дебондер DB 12T.

the dispensing without air inclusion. The thickness of the layer is in the range of 35–50 μm using a HEIDENHAIN measurement system. After baking at 220°C for 2 min without proximity to the hotplate the device wafer is ready for further processing. The second step of substrate preparation before adhesive wafer bonding is the layer deposition on the carrier wafer with the BrewerBond 510 material. This release material enables the mechanical debonding without wafer cracking at room temperature. The expected data-sheet layer thickness is around 5–6 run using speed rotation of 1250

rpm. The ellipsometry measurement showed a thickness of the release material around 3.5 nm. The numeric model and the wafer map after thickness measurement of the BrewerBond 510 release material are represented in Fig.13.

The subsequent adhesive wafer bonding is carried out under vacuum (process pressure < 5 mbar) with 180 кН/м² bonding pressure. With the infrared inspection an outgassing of the material was observed (Fig.14).

One is bonded at 200°C with a heating and cooling ramp of 10 K/min. The next one has a longer hold time at 100°C and 150°C for

20 minutes. The last bonded interface show the wafer stack after heating the wafer (200°C, 10 min) before coating. Nevertheless the subsequent wafer thinning of the 200 mm wafer is with the combined three step process (grinding, spin etching and chemical mechanical polishing) possible. With this conventional back grinding process the wafers can be thinned down up to 50 μm thickness. Regarding to silicon surface the roughness after grinding is around 14run with a wafer thickness of 115 μm (Fig.15).

Regarding to the thickness variation control a subsequent fine

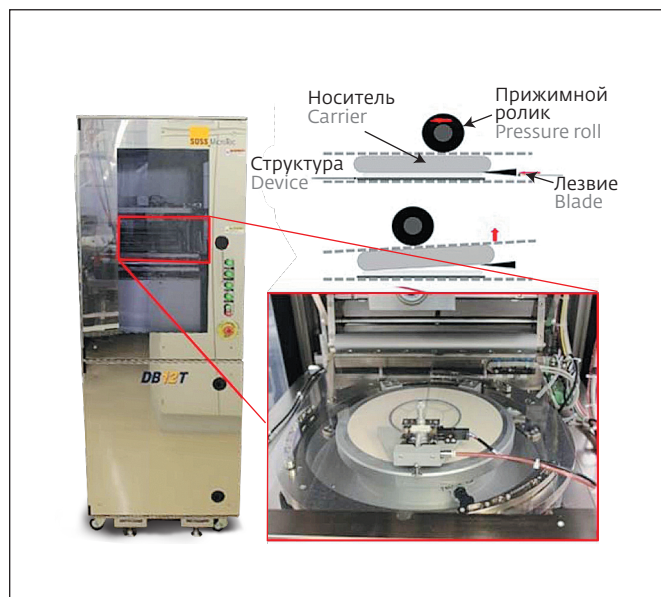


Рис.10. Процесс дебондинга в SUSS DB 12T
Fig.10. Debonding on SUSS DB 12T

В системе DB 12T сборка пластины с носителем с обеих сторон фиксируется вакуумом. Механическое разделение полупроводниковой пластины и носителя проводится по С-образному вырезу на краю пластины. Носитель фиксируется выше лезвия и поднимается на гибкой пластине вверх при комнатной температуре. Прижимной ролик перемещается назад и контролирует скорость процесса дебондинга. Схематический чертеж с изображением системы DB 12T представлен на рис.10 и рис.17.

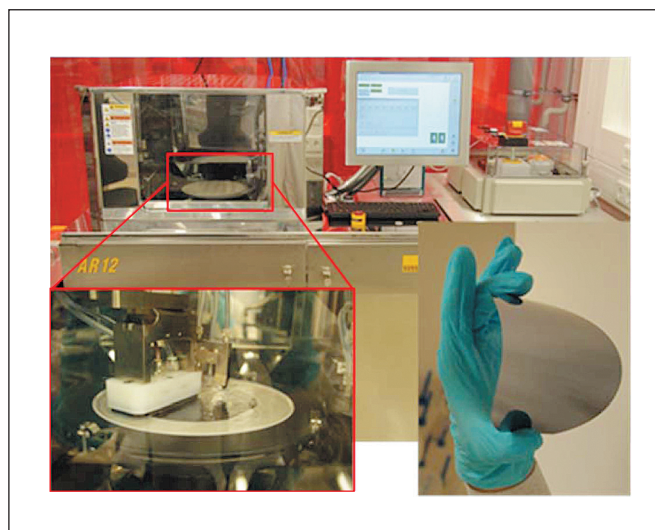


Рис.11. Очистка в модуле SUSS MicroTec AR12 и полупроводниковая пластина толщиной 50 мкм после финальной подготовки
Fig.11. Cleaning in SUSS MicroTec AR12 module and 50 μm device wafer after final preparation

На заключительном шаге полупроводниковая пластина, размещенная на рамке с пленкой, и носитель очищаются комбинированным методом (налив и набрызгивание). Как и в случае со снятием слоя с краев, чистка проводится в модуле SUSS MicroTec AR12 с использованием лимонена или мезитилена с последующей промывкой изопропиловым спиртом. Данный процесс применяется в изготовлении пластин толщиной до 50 мкм (рис.11).

grinding is favorable. With the downstream stress release spin etching process defects or micro cracks are reduced. In additional the surface quality of around 4nm is improved. With the final CMP step the perfect surface quality with a roughness smaller than 0.5 nm is realized (Fig.16).

Besides the mechanical wafer thinning there exist many other chemical and physical processes, which are partially tested and compatible to the adhesive wafer stack. These are:

- silicon dry etching;
- PVD-Metallization;
- photolithography;

- wet etching and cleaning process with different acids and bases like diluted hydrofluoric acid.

The most critical parameter is the temperature. Processing temperatures up to 300°C are possible.

After some tested processes the wafer stack with the device wafer face down is mounted on a tape frame and placed in the debonding system DB 12T (Fig.17). In the subsequent debonding process the device is separated from the carrier wafer. The debonding process of the 200 mm wafer is a room temperature peel-off process and identical to the mechanical release ZoneBOND process.

During the process the device wafer is fixed and the carrier wafer is vertically moved on a flex plate over two power cylinder. The debonding force is lower than 500 N and finished after less than 5 min. The cleaning is performed in AR12 module with mesitylene and subsequent isopropanol rinse compared to ZoneBOND process. In the cleaning step the wafer is rinsed by mesitylene. In the puddle dispense process the chuck is rotate right to left side for two seconds with changing the direction. The solvent remove the adhesive from silicon surface. Regarding the sensitive tape decomposed

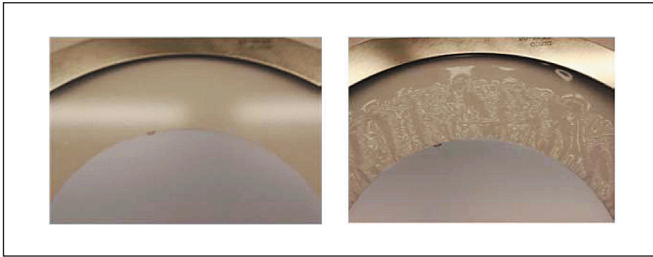


Рис.12. Рама с пленкой после 10 мин. (слева) и 40 мин. (справа) в ванне с мезитиленом

Fig.12. Tape frame after 10 min (left) and 40 min (right) in mesitylene bath

В процессе чистки наливом чистящее устройство воздействует справа налево в течение двух секунд в сочетании с ультразвуковой обработкой. При этом растворитель удаляет адгезив с полупроводниковой пластины. Процесс очистки должен быть максимально быстрым, поскольку мезитилен повреждает чувствительную к УФ-излучению пленку. При чистке наливом слой адгезива полностью удаляется за 15 мин., а пленка теряет свои клеящие свойства после 30 мин. в мезитиленовой ванне. Необходимо, чтобы поддерживалось определенное натяжение пленки (рис.12).

Опыт с материалами BrewerBond

Первым шагом в обработке полупроводниковых пластин с использованием системы RCD8 является нанесение адгезивного материала

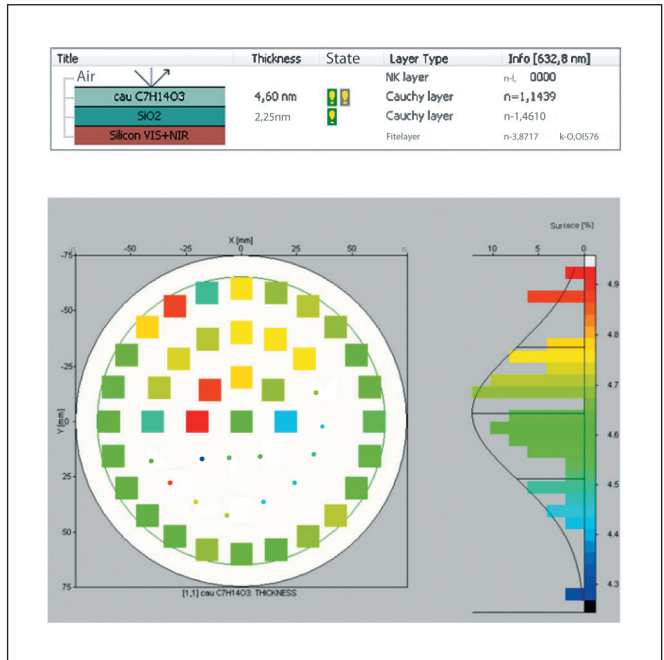


Рис.13. Числовая модель и карта полупроводниковой пластины после эллипсометрического измерения материала BrewerBond 510

Fig.13. Numeric model and wafer map after ellipsometry measurement of the BrewerBond 510 release material

BrewerBOND 305, который имеет вязкость 6700 сП. Важно, чтобы он наносился без включения пузырей воздуха. Толщина слоя составила 35–50 мкм (система измерения HEIDENHAIN). После задувания при температуре 220°C в течение 2 мин.

by the mesitylene the cleaning process needs to be as short as possible.

For the manual tape frame removing the wafer is placed on a vacuum chuck after UV exposure. With minimized nitrogen support the 50 μm thin wafer can be taken from the vacuum chuck by hand (Fig.18).

CONCLUSION

In summary the increasing of functionalities in one system in parallel with the component size reducing, required the 3D MEMS integration. One key technology is the temporary bonding/

debonding method with a high priority in 3D IC.

Compared to the 3D IC in the MEMS integration there exist different challenges.

- different functionalities (like Optic, Mechanic, Fluidic plus Electronic);
- many technologies and materials (like silicon, ceramic, glass, metal or polymers);
- sensible components with the need of a hermetical package;
- TSVs with high aspect ratio and large dimensions.

In the summary there exist no standard solution. It depends on the application. Actually in

3D-MEMS integration the complex ZoneBOND two zone approach is used. But Brewer Science presented new adhesive material called BrewerBOND which allow temporary wafer bonding processes to produce 50 μm thin wafer with subsequent laser or mechanical release process. The process flow is significantly simplified. Compared to ZoneBOND, the anti-sticking layer is coated on the complete carrier wafer. As a result the wet chemical edge release before de-bonding is not required. In additional the material enables backside temperature processing up to 300°C. ■

без зазора между пластиной и нагревательной плитой, пластина была готова к дальнейшей обработке.

Следующим этапом является нанесение слоя BrewerBond 510 на пластину-носитель. Этот антиадгезионный материал позволяет проводить механический дебондинг при комнатной температуре без риска растрескивания пластины. Согласно документации, при скорости 1250 об/мин. толщина слоя должна составлять 5–6 нм, но эллипсометрические измерения показали величину около 3,5 нм. Числовая модель и карта полупроводниковой пластины после измерения толщины слоя BrewerBond 510 представлены на рис.13.

Последующее сращивание пластин проводится под вакуумом (< 5 мбар) при давлении 180 кН/м^2 . Во время ИК-инспекции был обнаружен выход газа (рис.14). В первом случае сращивание проводилось при температуре 200°C с шагом нагрева и охлаждения 10 К/мин . Во втором случае использовалась выдержка при 100°C и 150°C в течение 20 минут. В последнем случае перед нанесением покрытия проводился нагрев до 200°C (10 мин).

Последующее утонение полупроводниковой 200 мм пластины выполняется в три этапа (шлифование, травление и химико-механическая полировка). С помощью традиционного процесса шлифовки обратной стороны можно добиться утонения до 50 мкм . Шероховатость кремния после шлифовки составляла примерно 14 нм при толщине полупроводниковой пластины 115 мкм (рис.15).

В целях выравнивания толщины пластины предпочтительно провести тонкую шлифовку. С помощью центробежного травления сглаживаются дефекты и микротрещины поверхности, а также уменьшается ее шероховатость (около 4 нм). На финальном этапе химико-механической полировки можно получить идеальную поверхность с шероховатостью меньше $0,5 \text{ нм}$ (рис.16).

Помимо механического утонения для обработки сборки пластины на носителе могут использоваться следующие химические и физические процессы:

- сухое травление кремния;
- металлизация методом физического осаждения из газовой фазы;
- фотолитография;
- жидкостное травление и чистка с использованием различных кислот и щелочей, таких как разбавленная фторводородная кислота.

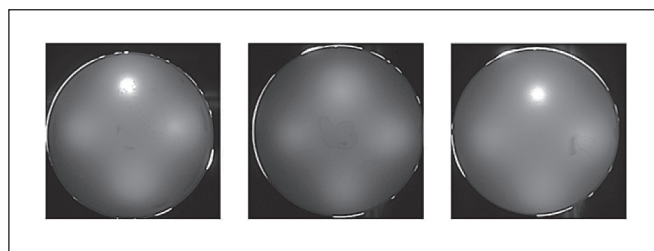


Рис.14. Выход газа, определенный с помощью ИК-контроля поверхностей сращивания

Fig.14. Outgassing detection via IR control of different bonding interfaces

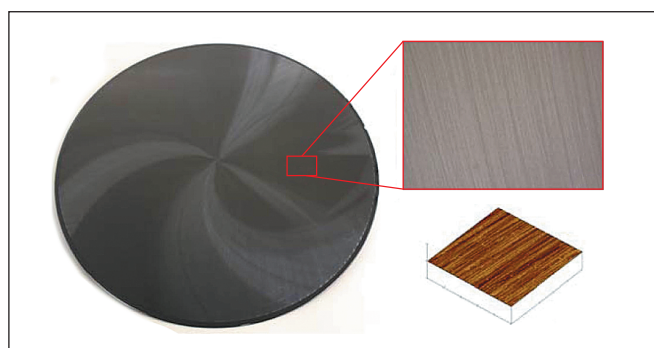


Рис.15. Оптическое изображение пластины с дефектами кремния и шероховатостью $Ra = 14 \text{ нм}$ после тонкой шлифовки

Fig.15. Optical image with silicon defects and measured roughness $Ra = 14 \text{ nm}$ after fine grinding

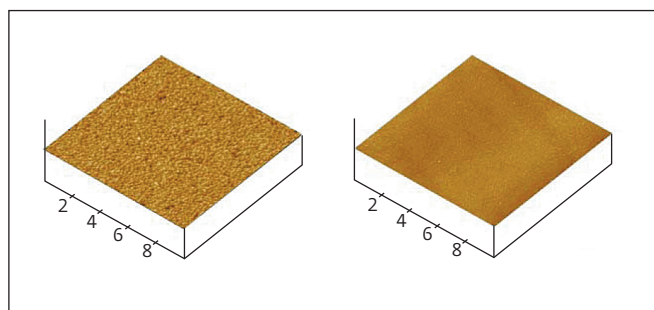


Рис.16. АСМ-изображение после центробежного травления ($Ra = 4 \text{ нм}$, слева) и Si-ХМП ($Ra = 0,5 \text{ нм}$, справа)

Fig.16. AFM-image after Spin etching ($Ra = 4 \text{ nm}$, left) and Si-CMP ($Ra = 0.5 \text{ nm}$, right)

Наиболее критичным параметром является температура, которая не должна превышать 300°C .

После необходимой обработки сборка пластины на носителе, в которой пластина ориентирована лицевой стороной вниз, монтируется на рамку с пленкой и помещается в систему дебондинга DB12T (рис.17). В процессе

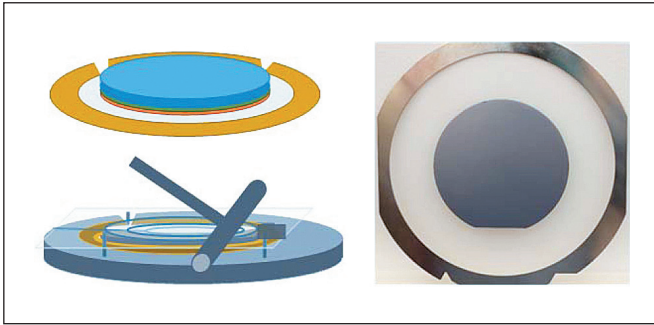


Рис.17. Схема полупроводниковой пластины толщиной 50 мкм на раме с пленкой перед дебондингом

Fig.17. Schematic drawing including 50 μm thin wafer on a tape frame before debonding

дебондинга полупроводниковую пластину отделяют от носителя. Механический дебондинг пластины размером 200 мм выполняется при комнатной температуре так же, как и в случае применения материала ZoneBOND: полупроводниковая пластина фиксируется на месте, а носитель поднимается вверх на гибкой пластине. Сила разделения не превышает 500 Н и действует менее 5 мин.

Чистка выполняется в модуле AR12 с помощью мезитилена и завершается промывкой изопропиловым спиртом, как и в процессе с ZoneBOND. При промывке струей мезитилена держатель вращается справа налево в течение 2 секунд, меняя направление, и растворитель удаляет адгезив с поверхности кремния. Чтобы пленка не была повреждена мезитиленом, процесс чистки должен проходить максимально быстро.

Для ручного удаления рамки с пленкой, после УФ-экспонирования полупроводниковая пластина помещается на вакуумный держатель. При минимальной поддержке струей азота полупроводниковую пластину толщиной 50 мкм можно снять с держателя вручную (рис.18).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Увеличение функциональности систем параллельно с уменьшением размера компонентов требует применения 3D МЭМС-интеграции. Одной из ключевых технологий в производстве 3D ИС является временное сращивание/дебондинг. По сравнению с 3D ИС, в МЕМС-интеграции существует ряд сложностей:

- различная функциональность приборов (например, оптические, механические или сочетающие флюидику с электроникой);

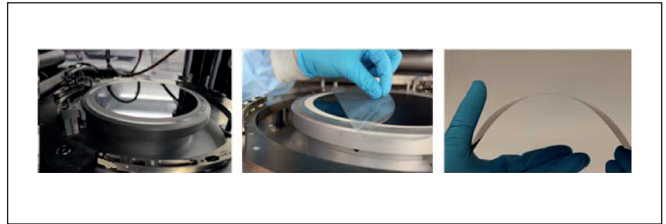


Рис.18. Удаление пленки и полученная полупроводниковая пластина

Fig.18. Removing the tape and resulting wafer

- применение разнообразных технологий и материалов (кремний, керамика, стекло, металл или полимеры);
- необходимость обеспечения герметичности чувствительных компонентов;
- использование сквозных отверстий в кремнии с большим аспектным отношением.

В целом можно резюмировать, что стандартного решения не существует, и технология зависит от области применения прибора.

В 3D МЭМС-интеграции получил распространение комплексный двузонный метод ZoneBOND. Однако компания Brewer Science разработала также новый адгезионный материал под названием BrewerBOND, который позволяет выполнять временное сращивание с последующим лазерным или механическим дебондингом, получая полупроводниковые пластины толщиной 50 мкм. Технологический процесс при этом значительно упрощается. Поскольку, в отличие от ZoneBOND, антиадгезионный слой наносится на всю поверхность носителя, отсутствует необходимость жидкостной химической обработки края перед проведением дебондинга. Кроме того, данный материал позволяет использовать при обработке обратной стороны температуру до 300°C.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

1. Munck K.D. Generic building blocks for 3D integration and their application on hybrid CMOS image sensors. Katholieke Universiteit Leuven: s.n. Dissertation, ISBN: 978-90-5682-940-7.
2. Developpement Y. Thin Wafer, Temporary Bonding Equipment and Materials Market. 07/2012.
3. Tematys. Thin Wafers, Temporary Bonding Equipment & Materials Market. 2012.
4. BrewerScience Datasheets: BrewerBOND305 and ZoneBOND5150-30.