

Прецизионное утонение пластин с использованием промежуточного носителя из стекла

Д. Суханов¹

УДК 621.382.2/.3 | ВАК 2.2.8

В статье рассматриваются технологии прецизионного утонения полупроводниковых пластин и обосновываются преимущества выбора промежуточного носителя из стекла. Анализируется влияние разности коэффициентов теплового расширения и других параметров на деформации двуслойной структуры, состоящей из пластины и носителя. Уделено внимание вопросам безопасного демонтажа носителя.

ДЛЯ ЧЕГО НЕОБХОДИМО ПРИМЕНЯТЬ ПРОМЕЖУТОЧНЫЕ НОСИТЕЛИ И КАК ВЫГЛЯДИТ ИДЕАЛЬНАЯ ПЛАСТИНА-НОСИТЕЛЬ?

- Трехмерная стекловая память использует Si-пластины, которые утоняются до толщин менее 50 мкм, чтобы обеспечить требуемые межсоединения (TSV – through silicon via);
- биполярные транзисторы с изолированным затвором (IGBT – Insulated-gate bipolar transistor) используют в своей основе утоненные пластины для реализации их структур в вертикальной плоскости;
- компоненты для мобильных устройств перед корпусированием утоняются, чтобы они соответствовали ограничениям по высоте.

Когда требуемая конечная толщина пластины превышает 200 мкм, для утонения обратной стороны используются гибкие носители (пленки). В случае, если требуемая толщина пластины менее 200 мкм – применяется жесткий носитель (пластина).

Последующие процессы после утонения (сухое травление, осаждение металлов и диэлектриков) проходят при повышенных температурах. Различия в коэффициентах теплового расширения (КТР) носителя и пластины вызывают деформацию стека, приводящую к нежелательным последствиям, включая поломку пластины.

Идеальная пластина-носитель должна иметь КТР, соответствующий КТР пластины, подлежащей утонению.

ЧТО ВЛИЯЕТ НА ДЕФОРМАЦИЮ ПЛАСТИН?

Используем упрощенную формулу для оценки деформации двуслойной структуры в зависимости от свойств

материалов. Предположим, что слой пластины после утонения значительно тоньше, чем носитель. Тогда выражение для деформации будет следующим:

$$\omega \approx 0,75 L^2 \Delta \alpha \Delta T \frac{E_s (1 - \nu_g) t_s}{E_g (1 - \nu_s) t_g^2}, \quad (1)$$

где нижний индекс s используется для обозначения свойств материала пластины, подлежащей утонению: E_s – модуль Юнга; t_s – толщина пластины; ν_s – коэффициент Пуассона; $\Delta \alpha$ – разность КТР двух слоев; нижний индекс g использован для несущей пластины для тех же параметров соответственно; L – размер носителя.

Деформация линейно пропорциональна несоответствию КТР ($\Delta \alpha$), а также разности температур монтажа ($T_{\text{проц}}$) и эксплуатации ($T_{\text{комн}}$), обратно пропорциональна модулю Юнга носителя и квадрату толщины носителя. На рис. 1 представлены графики зависимостей деформации двуслойной структуры от несоответствия КТР $\Delta \alpha$ (рис. 1а), модуля Юнга носителя E_g (рис. 1б), толщины носителя t_g (рис. 1в). Параметры $E_s = 20$ ГПа, $\nu_g = 0,22$, $\nu_s = 0,35$, $t_s = 0,15$ мм, $T_{\text{комн}} = 20$ °С, $T_{\text{проц}} = 250$ °С, $L = 300$ мм оставались постоянными.

ПРЕИМУЩЕСТВА СТЕКЛА КАК МАТЕРИАЛА ДЛЯ НОСИТЕЛЯ

КТР (наиболее важный параметр)

В табл. 1 представлены значения КТР типовых материалов пластин, используемых на полупроводниковом производстве. В зависимости от состава, КТР стекла может варьироваться в широком диапазоне, вплоть до крайне малых значений ~0,2 мкм/°С.

Модуль Юнга

Эффективный параметр для управления деформацией если идеальное соответствие КТР невозможно. Стекло

¹ ООО «Остек-ЭК», заместитель технического директора, micro@ostec-group.ru.

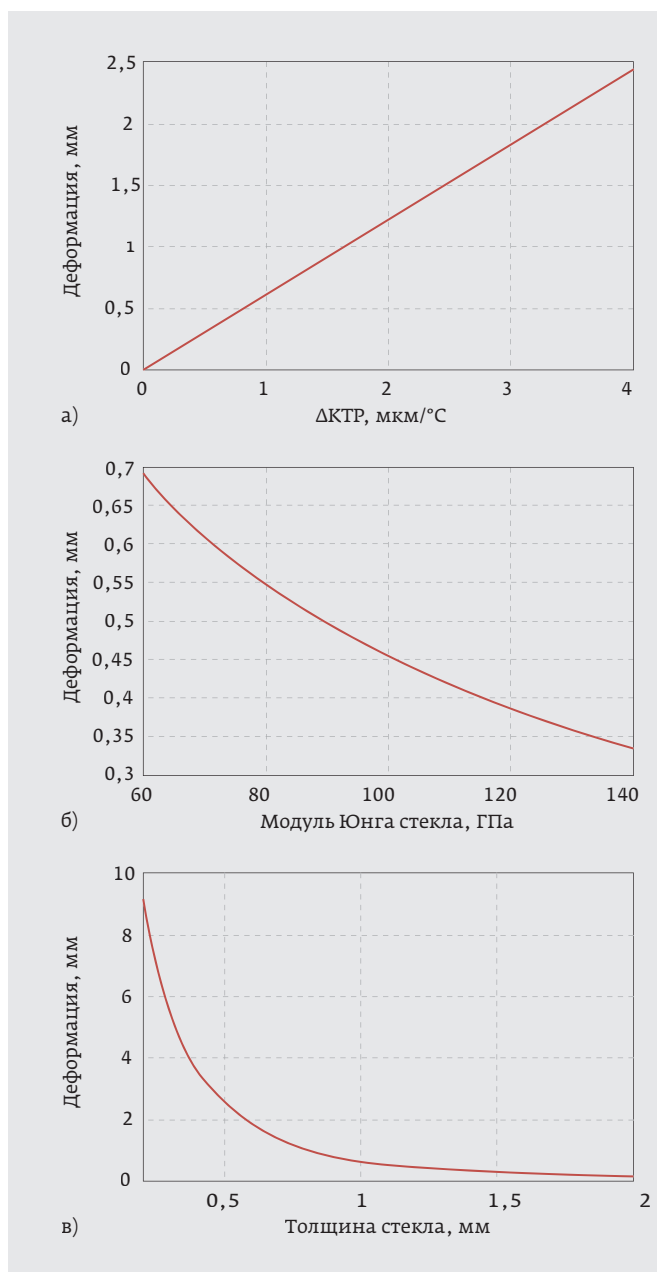


Рис. 1. Графики зависимостей деформации двуслойной структуры от различных параметров: (а) – от несоответствия КТР: $E_g=70$ ГПа, $t_g=1,1$ мм; (б) – от модуля Юнга носителя: $t_g=1,1$ мм, $\Delta\text{КТР}=1,0$ мкм/°С; (в) – от толщины носителя: $E_g=70$ ГПа; $\Delta\text{КТР}=1,0$ мкм/°С

Таблица 1. Значения КТР полупроводниковых материалов

Материал пластины	Si	SiC	GaN	GaAs	Sapphire	LiTaO ₃
Применение	ИС, память	Силовые ИС, LED	СВЧ, LED	СВЧ, LED	LED	ПАВ-фильтры
КТР (22-300 °С), мкм/°С	~3,0	~4,0	~3,0-5,6*	~6,0	~5,0-7,0*	4,0-16,0*

* Зависит от ориентации кристаллической решетки.

характеризуется модулем Юнга в диапазоне 65–75 ГПа, высокотехнологичные марки – вплоть до 140 ГПа.

Толщина носителя

Поскольку квадрат толщины носителя находится в знаменателе формулы (1), данный параметр крайне эффективен для управления деформацией, особенно в диапазоне значений толщин 0,5–1,0 мм.

Стекло является идеальным материалом-носителем, поскольку может обеспечить КТР, соответствующий утюжимой пластине. Его относительно высокий модуль Юнга и возможность оптимизации толщины в соответствии с конкретными условиями применения также являются ключевыми преимуществами. Прозрачность позволяет проводить лазерный дебондинг и упрощает контроль качества монтажа. Стекло дает возможность достичь низкого разброса общей толщины и пригодно для повторного использования. В табл. 2 приведено сравнение характеристик стекла, кремния (Si) и пленки BGT (backgrinding tape).

На рис. 2 представлены характеристики разработанных компанией Corning Inc. стеклянных пластин, которые покрывают диапазон КТР 3–13 мкм/°С. Продукт Advanced

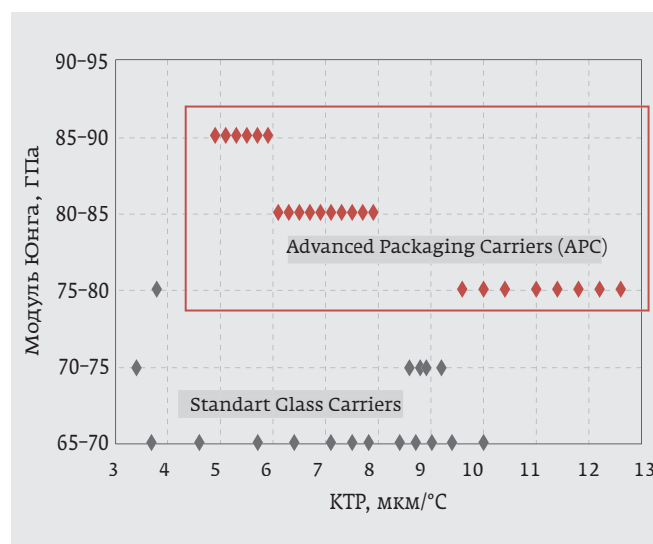


Рис. 2. Стеклянные пластины, покрывающие диапазон КТР 3–13 мкм/°С

Таблица 2. Сравнение характеристик стекла, кремния и пленки BGT

Параметр	Стекло	Si	BGT	Замечания
КТР соответствует Si	●	●	●	Соответствие по КТР Si во всем диапазоне процессных температур
Стоимость	●	●	●	Стекланный носитель можно полировать, если это нужно
Изготовление на заказ по КТР	●	●	●	КТР стекла может быть адаптирован под разные материалы пластин
Визуальный контроль	●	●	●	Стекланный носитель прозрачен для визуального контроля
TTV	●	●	●	Стекланный и Si-носитель можно отполировать в соответствии с требованиями
Изготовление на заказ по толщине	●	●	●	Толщина стеклнного и Si-носителя может быть оптимизирована в соответствии с требованиями
Совместимость с лазерным и механическим дебондингом	●	●	●	Использование одного материала для разных процессов заказчика
Устойчивость края и поверхности	●	●	●	У стекла крайне высокая при бережном обращении
Эластичность (модуль Юнга)	●	●	●	Стекло: 60–90 ГПа Si: 130–170 ГПа BGT: <10 ГПа

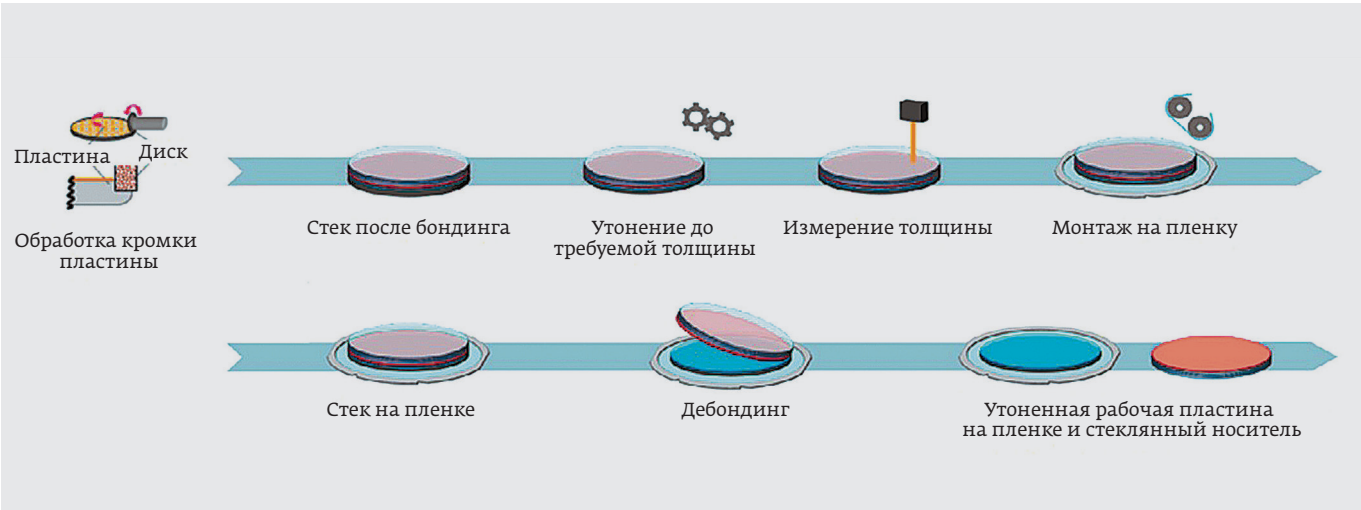


Рис. 3. Общий технологический процесс утонения и механического отделения

Packaging Carriers (APC) – линейка стекланных пластин, характеризующихся большим модулем Юнга и толщинами до 2 мм.

МЕХАНИЧЕСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ – ДЕМОНТАЖ (ДЕБОНДИНГ) СТЕКЛАННОГО НОСИТЕЛЯ

Прозрачность стекланных пластин-носителей позволяет проводить процесс демонтажа при помощи лазера, при

этом их преимущества для механического дебондинга часто остаются без должного внимания.

Стекло также обеспечивает возможность применять визуальный контроль после монтажа пластины на носитель. Эффективность монтажа можно легко проверить путем оптического контроля дефектов.

Общий ход процесса работы с держателями из стекла на современных системах для механического дебондинга

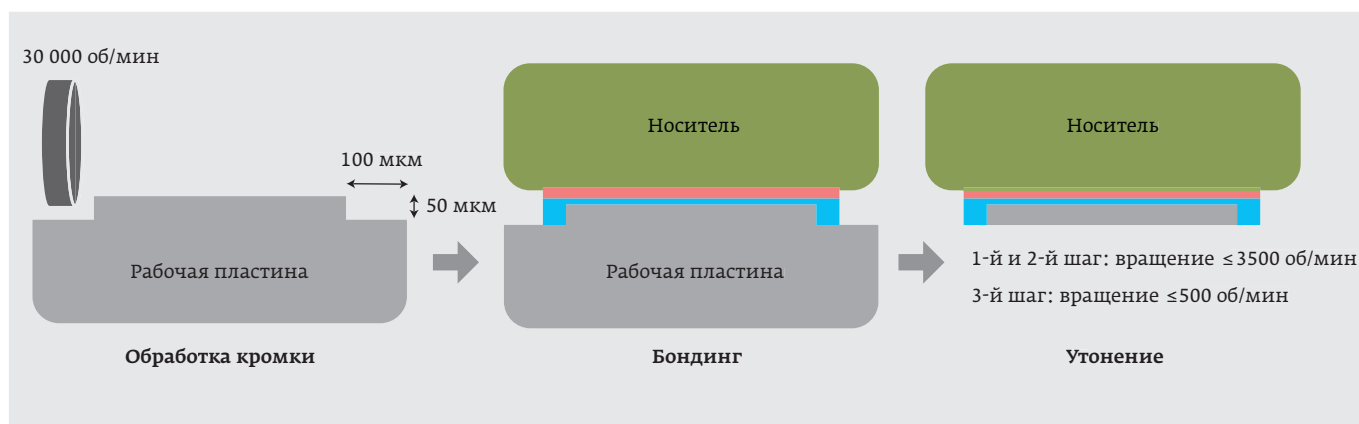


Рис. 4. Схематическое представление процессов обрезки кромки, монтажа на носитель и утонения

показан на рис. 3 (обрезка кромок, монтаж на носитель, утонение обратной стороны, монтаж на ленту, демонтаж с носителя).

КТР стекла хорошо соответствует КТР Si в типовом температурном диапазоне, используемом для утонения Si и обработки после утонения.

Рассмотрим общий технологический процесс с утонением до 50 мкм. Перед монтажом Si-пластины на стеклянный носитель выполняют обрезку ее кромок для предотвращения сколов кромок в процессе шлифовки. Далее наносят адгезивный материал и выполняют монтаж пластины на носитель. Затем проводят визуальный метрологический контроль однородности толщины клея и приступают к процессу утонения. При этом выполняют метрологический контроль процесса утонения, чтобы гарантировать толщину Si-пластины 50 мкм с ожидаемым допуском.

На следующем этапе пластину устанавливают на ленту для последующего процесса резки перед окончательным процессом механического демонтажа. Этот этап, в зависимости от технологии и производителя оборудования, может проводиться и после процесса демонтажа.

Наконец, сам процесс механического демонтажа. Различные производители применяют разнообразные подходы к данному процессу. Кто-то использует термический сдвиг, кто-то – клиновидный инициатор процесса демонтажа. В обоих случаях пластины фиксируются вакуумом, но для второго варианта существует риск повреждения стеклянного носителя, так как он будет подвергаться деформации в вертикальном направлении.

УСЛОВИЯ ОБРАБОТКИ КРОМКИ И ПРОЦЕСС УТОНЕНИЯ

На рис. 4 в упрощенном виде показаны процессы обрезки кромки, монтажа на носитель и утонения.

Перед монтажом на носитель необходимо обработать кромку кремниевой пластины для снижения риска межфазного расслоения и сколов кромок в процессе утонения. Профиль с обрезанными краями имеет ширину 100 мкм и глубину 50 мкм.

После монтажа выполняется многоэтапный процесс утонения. Первый шаг – грубое удаление большей части толщины до ~100 мкм. Второй шаг – использование шлифовального круга с мелким зерном для шлифовки до толщины ~52 мкм. Последний шаг – использование специальной суспензии для точной и медленной полировки Si-пластины до заданной толщины 50 мкм. На рис. 5 показан результат монтажа пластины на стеклянный носитель.

На рис. 6 представлен результат процесса механического демонтажа пластин со стеклянного носителя. Процесс демонтажа прошел успешно. Видны лишь остатки адгезива, которые можно удалить. При таком процессе стеклянный носитель можно использовать многократно.

Крайне важным фактором для успешного осуществления процесса механического демонтажа является точный расчет напряжений в стеклянном носителе и пластине. Напряжение изгиба, возникающее в пластине во время демонтажа, может быть рассчитано и сопоставлено

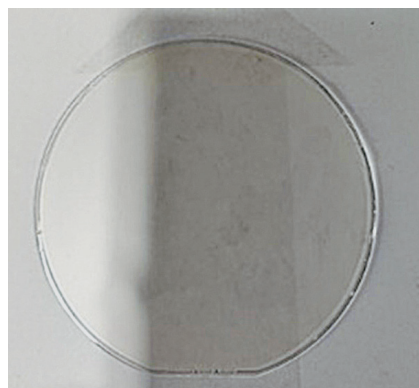


Рис. 5. Результат процесса монтажа пластины на стеклянный носитель

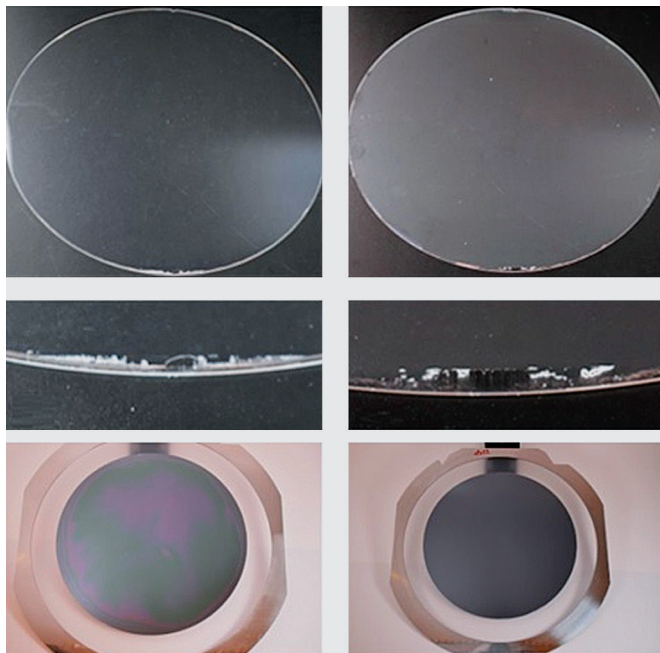


Рис. 6. Результаты процесса демонтажа со стеклянного носителя [1]

с пределом прочности кромки для оценки риска разрушения стеклянного носителя. Напряжение изгиба, возникающее на краю стекла, можно оценить по радиусу кривизны с помощью теории изгиба с использованием следующей формулы:

$$\sigma = tE/2r, \quad (2)$$

где t — толщина пластины; E — модуль Юнга стеклянной пластины; r — радиус кривизны.

Если принять, что деформация является цилиндрической, то радиус кривизны можно рассчитать по формуле:

$$r = (l^2 - h^2)/2h, \quad (3)$$

где h — высота подъема; l — расстояние между характерными точками поворота (рис. 7).

Таблица 3. Расчетные значения радиуса кривизны для стандартных значений высоты подъема h и расстояний l

Радиус изгиба (r), мм		Расстояние от оси вращения до подъемника (l), мм		
		35	40	45
Высота подъема (h), мм	1	613	800,5	1013
	2	307,3	401	507,3

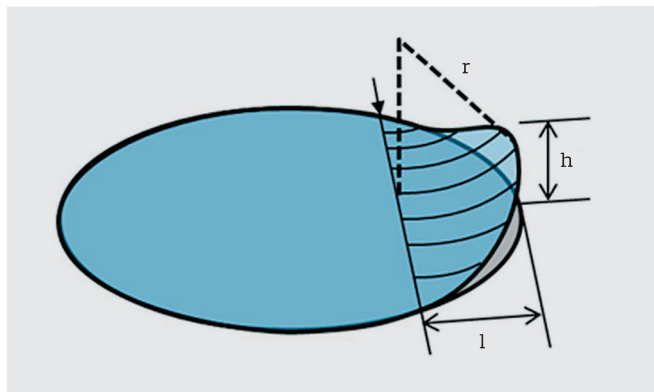


Рис. 7. Схематическое изображение изгиба стекла во время процесса дебондинга

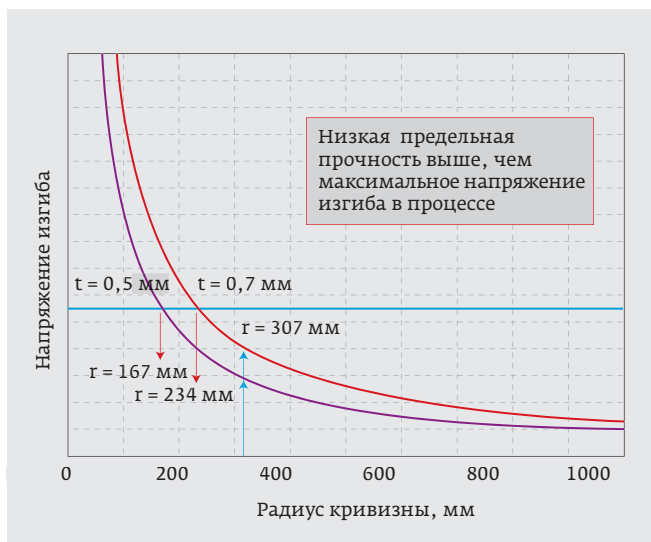


Рис. 8. Графики зависимостей напряжений изгиба от радиусов кривизны стеклянных пластин для толщин 0,5 и 0,7 мм

Рассчитанные значения радиуса кривизны для типовых высот подъема и расстояний l приведены в табл. 3.

Наименьший радиус составляет 307 мм, при подъеме 2 мм и расстоянии между характерными точками

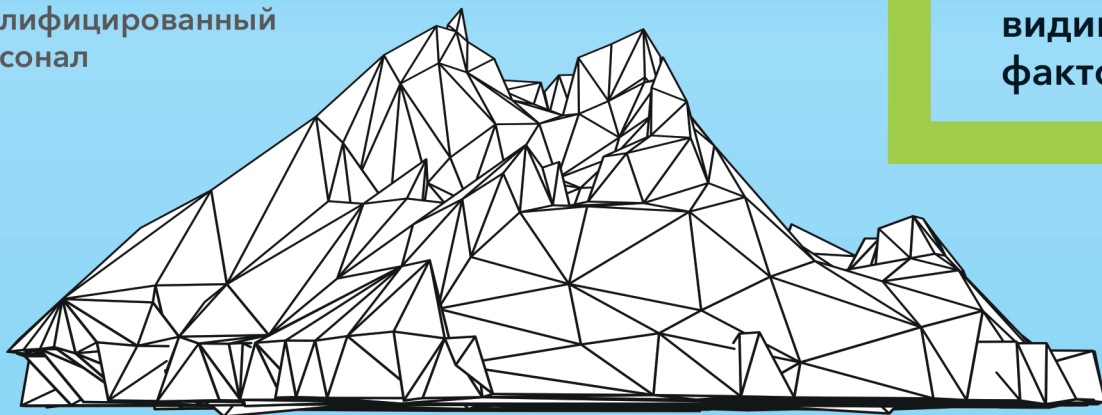
Ostec-Care

Независимость от скрытых проблем

- Качество оборудования и ПО
- Проект и конфигурация производственных процессов
- Квалифицированный персонал

10%

**ВИДИМЫХ
ФАКТОРОВ**



90%
СКРЫТЫХ

- Грамотная эксплуатация
- Качественные расходные материалы и запасные части
- Своевременное обслуживание
- Диагностика и ремонт
- Модернизация аппаратной и программной частей



Остек-ЭК | Группа компаний Остек

Оборудование и сервис для микроэлектронных производств
ostec-micro.ru | 4micro.ru | micro@ostec-group.ru | +7 (495) 788-44-42

поворота 35 мм. На рис. 7 представлено схематическое изображение изгиба стекла во время процесса дебондинга.

На рис. 8 показаны графики зависимостей напряжений изгиба от радиусов кривизны для стеклянных пластин двух толщин: 0,5 и 0,7 мм. Горизонтальная синяя линия указывает на значение нижнего предела прочности краев стеклянных пластин. Как видно по рис. 8, нижний предел прочности намного выше, чем напряжение, создаваемое при наименьшем радиусе кривизны 307 мм в процессе дебондинга (отмечено синей стрелкой). Таким образом, стеклянную пластину можно безотказно использовать в процессе дебондинга. При достижении напряжения изгиба нижнего предела прочности радиусы кривизны составили бы 167 и 234 мм для пластин с толщинами 0,5 и 0,7 мм соответственно.

ИТОГИ ПРИМЕНЕНИЯ ПРОМЕЖУТОЧНОГО НОСИТЕЛЯ ИЗ СТЕКЛА

Для утонения полупроводниковых пластин стекло является идеальным материалом-носителем и обладает следующими особенностями:

- обеспечение соответствующего КТР пластины;
- гибкость в выборе толщины для минимизации изменения формы во время утонения и обработки после утонения;
- прозрачность для упрощения контроля качества процесса;
- совместимость с различными технологиями дебондинга.

Для развития отрасли необходимо использование сильно утоненных пластин. В будущем лазерный дебондинг станет основным процессом демонтажа пластины с носителя. Применение носителя, который совместим с текущими процессами механического дебондинга и соответствует планам будущего развития, позволит компаниям экономить время и затраты на разработку.

ЛИТЕРАТУРА

1. Brueckner J., Gaab A., Lin S., Chang E., Ono T., Singh V., Zhang J., Tussing S., Spiess W. Enabling wafer thinning using a glass carrier // Chip Scale Review. March – April, 2021.



ИЗДАТЕЛЬСТВО «ТЕХНОСФЕРА» ПРЕДСТАВЛЯЕТ КНИГУ:



Цена 1300 руб.

Джонс М.Х.

Электроника – практический курс

Издание третье, исправленное

М.: ТЕХНОСФЕРА, 2025. – 512 с.
ISBN 978-5-94836-341-7

В книге – переводе последнего, третьего, английского издания – рассмотрены принципы построения базовых схем современной электроники, широкого спектра как аналоговых, так и цифровых устройств. Это учебное пособие для студентов средних и высших учебных заведений радиотехнических и электронных специальностей наверняка будет полезно широкому кругу радиолюбителей.

При переводе сохранены обозначения и терминология, отличные от принятых в отечественной литературе, что может быть полезно читателям при дальнейшем изучении технической литературы стран Запада.

Для элементов, используемых в рассматриваемых примерах, указаны отечественные аналоги.

Перевод выполнен доцентами кафедры радиотехники МФТИ.

Как заказать наши книги?

По почте: 125319, Москва, а/я 91
По факсу: (495) 956-33-46
E-mail: knigi@technosfera.ru
sales@technosfera.ru

ИНФОРМАЦИЯ О НОВИНКАХ
www.technosfera.ru

INTERLIGHT SMART CITY & HOME

30 ЛЕТ!

Международная выставка освещения, автоматизации зданий, электротехники и систем безопасности

21–24 октября 2025

Крокус Экспо, Москва

НОВОЕ НАЗВАНИЕ | НОВЫЕ ДАТЫ | НОВАЯ ЛОКАЦИЯ | НОВЫЕ ВПЕЧАТЛЕНИЯ

Сделано
в России



→ Технологические решения в разделе **SMART CITY & HOME**

→ Ваши партнеры **450+ экспонентов**

→ **Деловая программа**

- Конференции, лекции, панельные дискуссии с участием мировых экспертов
- Выступления представителей региональных и муниципальных властей
- Эксклюзивный деловой завтрак с девелоперами
- Практические мастер-классы для архитекторов, дизайнеров, светодизайнеров, интеграторов и электромонтажников
- Тематические туры по выставке для девелоперов, архитекторов, дизайнеров и электромонтажников

→ Аудитория **24 000+ посетителей**



Получите **бесплатный билет**
по промокоду **IL25-AACUX**