

# ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКИЕ НАПРЯЖЕНИЯ В СБОРОЧНЫХ МИКРОУЗЛАХ

## РАСЧЕТ И ЭКСПЕРИМЕНТ

О. Мужиченко, Н. Плис

**Основная причина деградации электрических параметров полупроводниковых приборов – механические и термические воздействия на них в процессе шлифовки и разделения пластин на кристаллы, монтажа кристаллов, микросварки проволочных и пайки ленточных выводов, герметизации. При этом возможно снижение реальной прочности кремниевых пластин с 300–1000 до 60–180 МПа. Структурные и остаточные термомеханические напряжения на операциях сборочного производства ИС и БИС могут достигать 20–160 МПа или даже разрушающего полупроводниковый материал уровня. Поэтому разработка рекомендаций и методов, исключающих возникновение высоких уровней напряжений, особенно для БИС, предназначенных для поверхностного монтажа на платы, – задача важная и актуальная.**

исследуемого эталонного пика;  $\mathcal{J}$  – угол дифракции Брэгга;  $h_1$  и  $h_2$  – значения толщины кремниевого кристалла и кристаллодержателя, соответственно;  $m_1$  и  $m_2$  – коэффициенты Пуассона;  $E_1$  и  $E_2$  – модули упругости.

Качество монтажа кристалла определялось методом УЗ-микроскопии на оборудовании Sonoscan, США.

**Анализ данных**, представленных в таблице, показал, что при неизменных значениях температурных напряжений  $s_{от}$  с увеличением толщины кремниевых кристаллов ИС структурные напряжения существенно возрастают. При изменении толщины с 0,20 до 0,70 мм рассчитанные с учетом значений  $s_s$ , приведенных в [3], суммарные значения  $s = s_{ос} + s_{от}$  для эпоксидных клеев возрастают с 36,4 до 59,0 МПа.

Получено удовлетворительное соответствие между расчетными и экспериментальными значениями  $s$  в зависимости от величины  $h_1$  (рис. 1). Однако расположение кривых для монтажа на эпоксидные и фенолокаучуковые клеи в верхней части области экспериментальных значений  $s$  указывает на то, что в отличие от биметаллических соединений модель связей клеев менее жесткая. Это приводит к частичной релаксации напряжений в клеевых соединениях. Оптимальная толщина кремниевых кристаллов с учетом требований операции разделения пластин на кристаллы равна примерно 200 мкм. Зависимости изменения  $s$  от  $h_1$  при монтаже БИС на сплав Au-Si, образующийся в результате контактно-реактивного плавления кремния и золота при их контактировании, также показали удовлетворительное соответствие расчетных и экспериментальных величин  $s$  (рис. 2). Некоторое превы-

**Материалы и методика.** Кристаллы БИС присоединяются к корпусам и кристаллодержателям в основном с помощью эвтектического сплава Au-Si, эпоксидных или каучуковых клеев. Поэтому величины остаточных термомеханических напряжений ( $s$ ) после монтажа кристаллов рассчитывались и измерялись в основном для этих типов материалов. Величина  $s$  определялась как сумма начальных напряжений в кристалле  $s_s = s_{ос} + s_{от}$ , где  $s_{ос}$  и  $s_{от}$  – структурные и температурные напряжения, соответственно и напряжений в кристалле после монтажа его на клеи или эвтектический сплав Au-Si ( $s_M$ ), т.е. [1]:

$$s = s_s + s_M.$$

Расчеты  $s_s$  и  $s_M$  проводились по формуле [2]:

$$s_{s,M} = \frac{\alpha_2 h_2^3}{6 h_1 R_k (h_1 + h_2) (1 - m_2)} + \frac{E_1 (h_1 + h_2) \alpha_1}{2 R_k (1 - m_1) \beta} - \frac{\alpha_1^T E_1}{1 - m_1} - \frac{\alpha_2^T E_2}{1 - m_2} \beta$$

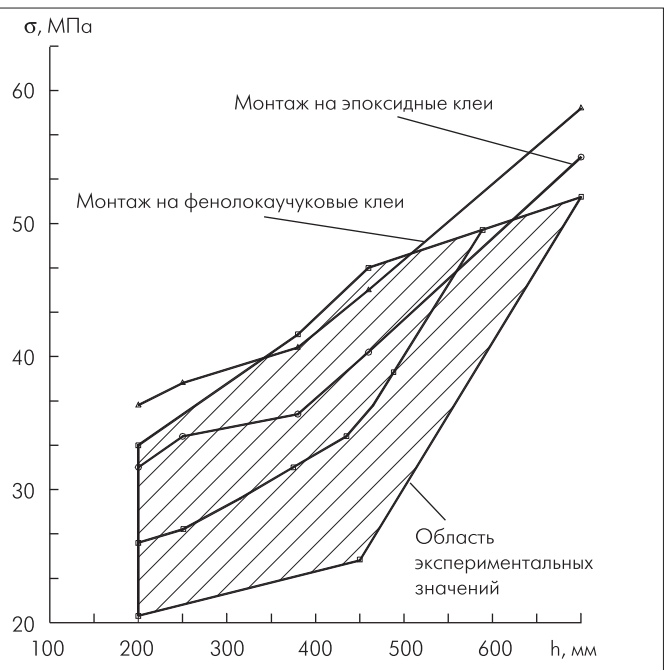
$$\text{или } s_{s,M} = [A + B] + [C - D] \Delta T,$$

где  $\Delta T$  – диапазон изменения температуры,  $\alpha_1^T$  и  $\alpha_2^T$  – температурные коэффициенты линейного расширения (ТКЛР) основы и вышележащего слоя, соответственно.

Величина  $R_k$  для систем кристаллодержатель–клей–кристалл измерялась методом рентгенодифракции, а полученные экспериментально величины  $s$  можно рассчитать по формуле

$$s = E_s \frac{\Delta W_{1/2}}{2} \text{ctg } \mathcal{J},$$

где  $E_s$  – модуль Юнга;  $\Delta W_{1/2}$  – интегральная разность полуширины



**Рис. 1. Зависимость напряжений  $s$  в кристаллах БИС от их толщины**

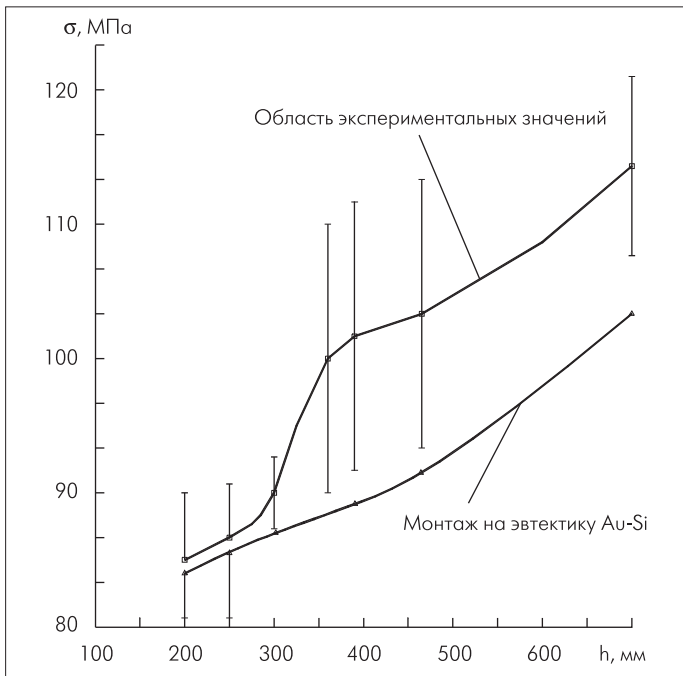


Рис. 2. Зависимость напряжений  $\sigma$  в кристаллах БИС от толщины  $h$ ,

шение экспериментальными значениями  $\sigma$  расчетных обусловлено соответствующим уровнем технологии монтажа кристаллов. При отсутствии пор и пустот в паяном соединении эти величины почти полностью совпадают. Значительного уменьшения  $\sigma$  можно добиться за счет механического утонения кремниевых пластин до  $h_1 = 150\text{--}200$  мкм.

Для существенного уменьшения  $\sigma$  в системе кристалл–кристаллодержатель полезно воспользоваться результатами расчета абсолютных значений удлинения кристалла и кристаллодержателя при монтаже кристалла. Коэффициент линейного расширения  $\alpha$  в интервале температур  $\Delta T = 130\text{--}377$  С постояен  $l_B = 1,26l_A$  (рис.3) и опреде-

ляется отношением относительного удлинения  $\frac{dl}{l_0} = \frac{l_B - l_{0B}}{l_{0B}}$  к изменению температуры  $\Delta T$ , вызвавшему это удлинение, т.е. [3]

$$\alpha = \frac{l_1 - l_2}{l_0 \Delta T}$$

где  $l_0$  – первоначальная длина, а  $l_1$  – длина при температуре  $T$ . Расчетные данные показали, что при сушке клея сжатие кристалла (например, для разумных банковских карт) длиной  $l_{0A} = 5$  мм равно 0,31 мкм, при пайке его на эвтектической сплав Au-Si расширение составляет 0,81 мкм. Расширение и сжатие кристаллодержателя длиной 6,5 мм при этом равны 4,1 и 10,7 мкм, соответственно. Расчет по простой пропорции показал, что если бы значения сжатия кристаллодержателя и кристалла были одинаковыми, т.е.  $l_A = l_B$ , то длина кристаллодержателя должна быть равна  $l_{0B} = 0,49$  мм. Но это практически не выполнимо, поскольку при такой длине нельзя монтировать кристалл

Расчетные величины напряжений при монтаже кристаллов на фенолакаучуковый ( $s'$ ) и эпоксидный ( $s''$ ) клеи

Толщина кремния, мм	$R_k$ , м	A, МПа	B, МПа	A+B, МПа	C-D, МПа		Расчетные значения, МПа			
					Фенолакаучуковый клей при $\Delta T=408K$ (135 С)	Эпоксидный клей при $\Delta T=388K$ (115 С)	$s'_{as+or}$	$s''_{as+or}$	с учетом $s_s$	
									Фенолакаучуковый клей	Эпоксидный клей
0,20	12,5	0,24	3,67	3,91	27,0	23,0	30,91	26,91	36,40	32,40
0,25	11,3	0,47	4,50	5,17	27,0	23,0	32,17	28,17	37,70	33,80
0,38	10,0	1,27	6,40	7,67	27,0	23,0	34,67	30,67	40,90	36,10
0,46	8,2	1,79	8,80	10,60	27,0	23,0	37,60	33,60	44,60	40,60
0,70	6,6	9,2	4,50	23,70	27,0	23,0	50,70	46,70	59,00	55,00

на кристаллодержатель и разворачивать последний в процессе сборки. Нельзя также уменьшать площадь механического и электрического контакта, сохраняя при этом высокую прочность паяных и клеевых соединений и большую площадь взаимодействия поверхности кристалла с герметизирующим пресс-материалом, у которого  $\alpha_n = 60 \cdot 10^{-6}$  град $^{-1}$ . А чем меньше площадь взаимодействия, тем выше  $\sigma$  кристалла. Поэтому необходимо найти другие пути снижения  $\sigma$  в системе кристалл–кристаллодержатель.

На основе анализа приведенных данных можно предложить два метода уменьшения величины  $\sigma$ . Первый – уменьшение эффективной длины кристаллодержателя с помощью продольных и поперечных сквозных отверстий (рис. 4а). Второй – создание демпфирующей развязки между кристаллом и кристаллодержателем (рис. 4б). Экспериментально установлено, что величина  $\sigma$  при толщине кристалла (размером 5,0 5,0 мм) 460 мкм может быть уменьшена со 100 до 80 МПа при монтаже БИС на эвтектику Au-Si и с 47 до 20 МПа при монтаже на клей.

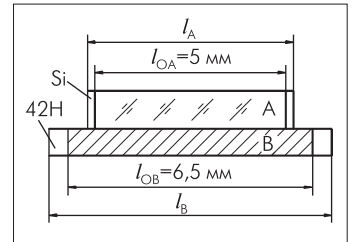


Рис. 3. Поперечный разрез системы кристалл–кристаллодержатель:

$l_{0A}$  и  $l_{0B}$  – длина кремния и сплава 42Н при  $T=298K$ ;  $l_A$  и  $l_B$  – длина кремния и сплава 42Н при температуре пайки кристаллов или сушке клея

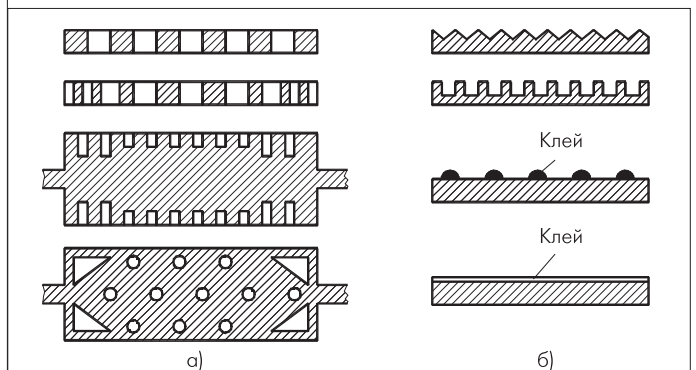


Рис. 4. Конструкции кристаллодержателей, обеспечивающие уменьшение  $\sigma$  за счет сквозных отверстий (а) или демпфирующей развязки (б)

Таким образом, для кристаллов различной толщины получено удовлетворительное соответствие между расчетными и экспериментальными величинами  $\sigma$  и выявлены пути эффективного уменьшения возникающих при монтаже механических напряжений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Концевой Ю.А., Литвинов Ю.М., Фаттахов Э.А. Пластичность и прочность полупроводниковых материалов и структур.– М.: Радио и связь, 1982. – 240с.
2. Чертов А.В. Единицы физических величин: Учебное пособие для вузов. – М.: Высшая школа, 1997. – 827с.
3. Мужиченко О.Г. Технология сборочного производства ИС и СБИС в пластмассовых корпусах для поверхностного монтажа.– В кн.: Тезисы докладов международной научно-технической конференции "Микроэлектроника и информатика".– Москва, Зеленоград, 1993, с.27-28.