

# Снижение толщины золотых покрытий при изготовлении интегральных схем

**Поиски путей экономии драгоценных металлов при изготовлении интегральных схем привели к разработке и изготовлению корпусов интегральных схем с тонким золотым покрытием. Снижение толщины золотого покрытия с 3–6 до 0,1 мкм уменьшает стоимость изделий в 5 раз по сравнению с обычными корпусами и приравнивает их по цене к корпусам с покрытием Ni–В, однако при этом не требуется лужение внешних выводов. В статье исследованы свариваемость и паяемость тонких золотых покрытий, а также покрытий Ni–В в металлокерамических корпусах интегральных схем.**

Владимир Ланин

vlanin@bsuir.by

Виктор Емельянов

## Свойства золотых покрытий

Развитие микроэлектроники в направлении увеличения функциональной сложности, степени интеграции и быстродействия интегральных схем (ИС), габаритов кристаллов и рассеиваемой ими мощности при неизменно высоком уровне требований к надежности схем сопровождается возрастанием трудностей сборки и герметизации, преодоление которых требует создания разнообразных по конструкции типов корпусов [1].

Одним из важнейших и широко применяемых видов функциональных покрытий корпусов ИС и непланарной стороны кремниевых кристаллов являются покрытия на основе золота. Золото обладает уникальными свойствами, которых не имеют другие металлы. Оно отличается самой высокой стойкостью к воздействию агрессивных сред, по электро- и теплопроводности уступает лишь серебру и меди [2]. Особенно важно для микроэлектроники то, что золото образует низкотемпературные соединения эвтектического типа с кремнием, германием и индием, которые обладают проводимостью определенного типа. Отсутствие оксидных пленок и высокая пластичность золота создают условия для получения микросоединений термокомпрессией при температуре 300–320 °С с незначительной деформацией проволочных выводов, а также паяных соединений кристалла с корпусом [3].

Основными параметрами золотого покрытия, влияющими на качество сборочных операций (пайка кристалла к корпусу и присоединение выводов), являются: твердость, чистота поверхности, электрическая проводимость, переходное электрическое сопротивление, пористость, паяемость [4]. При толщине золотого покрытия корпусов менее 3 мкм необходимо обеспечить твердость покрытий не более 800 МПа, при этом содержание золота в них должно быть не ниже 99,9% [5]. Получение золотого покрытия высокой степени чистоты (99,99%) позволяет уменьшить толщину золота до 2 мкм. Для этих целей рекомендуется проводить процесс золочения в два этапа из разных по составу электролитов [6].

На надежность контактов микросоединений большое влияние оказывают не только качество золотого покрытия, но и гальванические подслои металлов, нанесенные на элементы корпуса ИС. Подслой металла выполняет роль барьера, препятствующего диффузии металла основы, например меди, в золотое покрытие. Использование никеля в качестве подслоя под золотое покрытие существенно ограничивает процесс диффузии меди в золото.

Переходное сопротивление зависит от многих факторов: удельной электрической проводимости, твердости, пластичности и коррозионной стойкости покрытий, площади и шероховатости фактической поверхности контакта, условий нанесения покрытий и т. д. Пористость обычно называют едва ли не основным свойством покрытий, считая ее ответственной за коррозионную стойкость осадков металлов и сплавов. Поры в покрытии могут располагаться перпендикулярно подложке и под углом к ее поверхности, иметь разную форму, размеры и характер распределения. В покрытиях золотом с добавкой 0,1% кобальта при объемной пористости 2–100 пор/см<sup>2</sup> и диаметре поры 7,5 нм их объем составляет до 0,5% [7].

Высокая стоимость золотого покрытия, его дефицитность и снижение надежности контактных соединений в процессе эксплуатации вызывают необходимость разработки новых, более экономичных покрытий. Ряд дополнительных проблем корпусирования ИС вытекает из задач автоматизации их сборки и сокращения стоимости корпусов, прежде всего, за счет уменьшения расхода драгоценных металлов и кобальтсодержащих сплавов. Поиски путей экономии драгоценных металлов при изготовлении ИС привели к разработке и изготовлению корпусов с тонким золотым покрытием толщиной 0,1–0,25 мкм [8]. Снижение толщины золотого покрытия с 3–6 до 0,1 мкм требует обеспечения хорошего качества получаемых микросварных соединений. Использование корпусов с тонким золотым покрытием снижает их стоимость по сравнению с обычными и приравнивает по цене к корпусам с покрытием сплавом Ni–В.

**Свариваемость и паяемость тонких золотых покрытий**

С целью снижения затрат на изготовление металлокерамических корпусов и расхода драгоценного металла освоены новые технологии создания тонких покрытий золотом толщиной 0,1–0,2 мкм методом химического золочения для 14-, 16- и 20-выводных корпусов ИС. Покрытия, созданные методом химического золочения, имеют достаточно высокую сплошность и хорошую адгезию к подложкам. Корпуса с тонкими покрытиями в 3–5 раз дешевле, содержание золота в них при этом уменьшено примерно в 20 раз.

Одним из перспективных направлений улучшения качества функциональных покрытий является осаждение их на периодическом токе. Применение периодических токов позволяет оперативно управлять технологией формирования толщины покрытия, снизить количество включаемых примесей и пор, повысить плотность и износостойкость покрытий [9, 10].

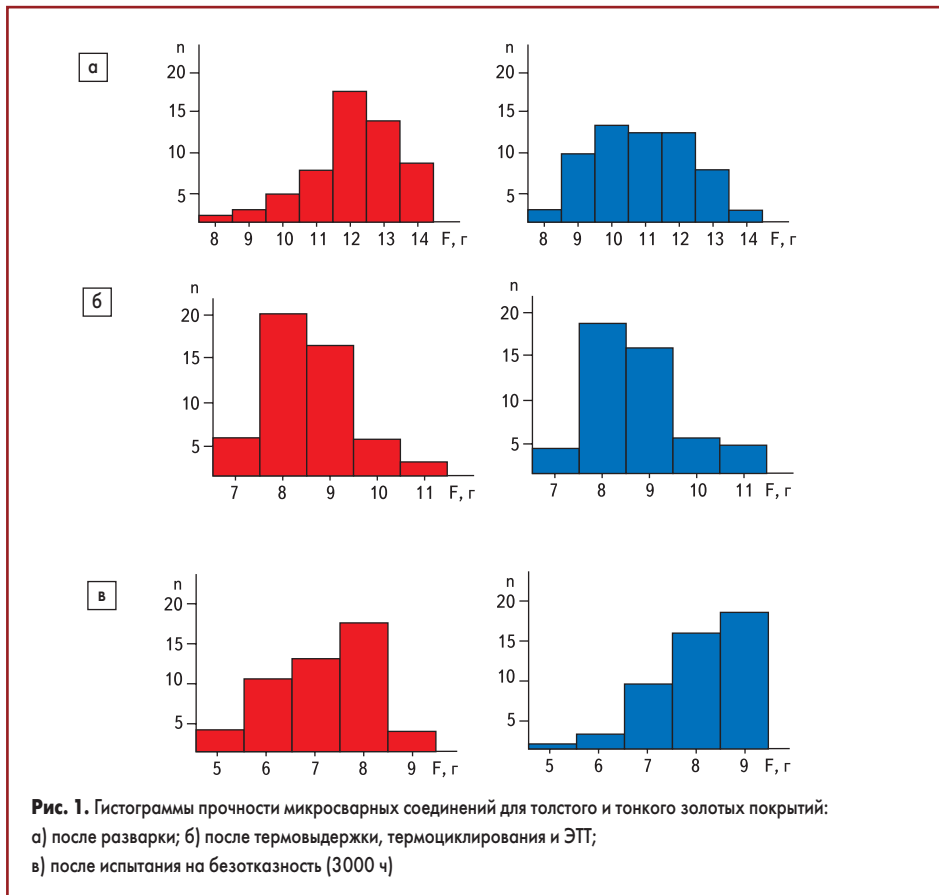
Исследованы процессы сборки по тонким золотым покрытиям 14- и 16-выводных металлокерамических корпусов серии 133 и 1533. Для оценки технологичности процесса сборки микросхем на корпусах с тонким покрытием в зависимости от срока хранения корпусов проведена сборка микросхем из одной партии с разрывом по запуску в 10 месяцев.

Осуществление ультразвуковой сварки на автоматах типа ЭМ 4020Б алюминиевой проволокой диаметром 35 мкм по тонким покрытиям требует корректировки режимов сварки по сравнению с толстым покрытием (табл. 1). Оценена прочность межсоединений на разрыв непосредственно после разварки, а также динамика ее изменения после цикла изготовления и технологических испытаний микросхем, включая термовыдержки при 150 °С в течение 48 ч и при 125 °С в течение 24 ч, термоциклирование: 10 циклов +150...–60 °С, электротермотренировка (ЭТТ): 168 ч при +125 °С, испытание на безотказность 3000 ч.

**Таблица 1.** Режимы ультразвуковой разварки соединений

Толщина золотого покрытия, мкм	Мощность УЗ, усл. ед.	Время сварки, усл. ед.	Давление, г
3–6	10–30	2–3	30–42
0,1–0,2	15–40	3–4	28–40

Использование корпусов с тонким покрытием золотом (0,1–0,2 мкм) делает невозможным проведение монтажа кристаллов методом эвтектической пайки, поэтому необходима приклейка кристаллов. Использование серебросодержащего адгезивного эпоксидного клея ABLEBOND фирмы Ablestik для монтажа кристаллов в корпус позволяет осуществлять надежный электрический контакт «кристалл – дно корпуса», который не уступает эвтектическому спаю как по электропроводности, так и по теплопроводности. Замена эвтектической пайки позволяет исключить термический удар (450–500 °С) на кристалл и на корпус. При этом примерно в два раза



снижается величина механических напряжений в системе «кристалл – дно корпуса».

Контроль электрического сопротивления «кристалл – корпус» проводился по методике, когда дно корпуса ИМС заземлялось и измерялось напряжение между выводом корпуса («земля») и дном корпуса при подаче тока величиной 1 мА.

Оценена паяемость корпусов с тонким золотым покрытием с использованием припоя ПОС 61 и спиртоканифольного флюса (25% массы — канифоль). Испытанию предшествовало ускоренное старение, которое проводилось при 155 ± 5 °С в течение 16 ч, и выдержка в нормальных климатических условиях в течение 24 ч. Методика испытания на паяемость включала:

- обезжиривание выводов путем погружения в этиловый спирт на 1–2 мин и высушивание на воздухе при комнатной температуре в течение 3–5 мин;
- флюсование в течение 1–2 с и выдержку для удаления избытка флюса в вертикальном положении 30–60 с;
- погружение выводов в ванну с расплавленным припоем в направлении их продольной оси при температуре припоя в ванне 235 ± 5 °С в течение 2 ± 0,5 с;
- проверку внешнего вида выводов для определения степени смачиваемости припоем под микроскопом при увеличении не менее 16×.

ИС считали выдержавшей испытание, если при проверке внешнего вида выводов испытываемая поверхность покрыта сплошным слоем припоя не менее чем на 95%.

Проведена сравнительная оценка границы раздела «припой – покрытие корпуса» после

испытания на паяемость и анализ микрорельефа поверхности луженых выводов на растровом электронном микроскопе Stereoscan-360 фирмы Cambridge Instruments Ltd. (Англия) со встроенным энергетическим спектрометром фирмы Link Analytical (Англия) с разрешением электронно-оптической системы микроскопа 50 нм и увеличением до 100 000×.

С целью экономии драгоценных металлов для изготовления микросхем используют корпуса с покрытием сплавом Ni–В [11]. Замена покрытия золота на Ni–В потребовала детального изучения процесса ультразвуковой сварки межсоединений и динамики изменения прочности микросварных соединений под воздействием технологических факторов.

Проведена оценка зависимости прочности межсоединений, полученных методом УЗ сварки алюминиевой проволокой диаметром 35 мкм по покрытию Ni–В, от параметров проволоки. Исследовалась разварка 14- и 16-выводных металлокерамических корпусов на оборудовании и оснастке, применяемой для соответствующих золотосодержащих корпусов. Физические параметры алюминиевой проволоки, используемой для проведения УЗ-сварки, регулировались режимами отжига исходной проволоки Ак0,9 ПТ-35.

Гистограммы прочности соединений после указанных испытаний приведены на рис. 1. Прочность микросоединений после разварки и испытаний для тонких и толстых покрытий имела одинаковую тенденцию к снижению. Ухудшение качества соединений для тонкого покрытия не отмечено (табл. 2). Установлено, что для 14-, 16-выводных корпусов по покрытию Ni–В толщиной 6 мкм качественные микросварные соединения могут быть получе-

**Таблица 2.** Электрические и механические параметры соединений

Параметры соединений		Значение параметра для корпусов с Au-покрытием толщиной	
		3–6 мкм	0,1–0,2 мкм
Прочность на разрыв после, г	разварки	8–14	9–15
	термовыдержки и термоциклов, ЭТТ	7–11	7–12
	испытаний на безотказность	5–9	5–8
Метод посадки		Эвтектическая пайка	Клей ABLEBOND
Электрическое сопротивление «кристалл – дно корпуса», Ом		1,6	1,8
Тепловое сопротивление, °C/Вт		68,2	69,7
Механическое напряжение системы «кристалл – дно корпуса», МПа		141,2	72,3

ны при разварке проволокой Ак0,9 ПТ-35 с прочностью на разрыв 21–27 г (относительное удлинение 1,5–4%). Для проволоки с прочностью на разрыв менее 20 г и выше 28 г не удалось обеспечить образование качественных микросварных соединений. В первом случае при испытаниях наблюдался в основном обрыв проволоки, а во втором случае не достигалась требуемая ее деформация в процессе микросварки.

Оценка динамики изменения прочности микросварных соединений в процессе воздействия технологических факторов проведена для 14- и 16-выводных корпусов с покрытием Ni–В по изменению прочности после термовыдержки при 150 ± 5 °C в течение 48 ч и после термоциклирования +150...–60 °C.

Анализ данных в таблице 3 показывает, что для 14-выводных микросхем как при воздействии повышенной температуры +150 °C в течение 48 ч, так и при воздействии термоциклов происходит ухудшение сцепления сварных соединений с покрытием Ni–В. При испытаниях межсоединений на разрыв в 30–40% случаев имеет место отслоение сварных точек от трав. В случаях же использования корпусов с покрытием золота толщиной 3–6 мкм при оптимальных режимах УЗ-микросварки воздействие технологических факторов приводит лишь к снижению прочности сварных соединений без разрушения сцепления сварных точек алюминиевой проволоки с золотым покрытием.

Для улучшения УЗ-сварки после перематки и отжига проволоки целесообразно проводить термостарение проволоки перед разваркой: то есть выдерживать катушки с перематанной проволокой при 100 ± 10 °C в течение не менее 4 ч. Это снимает остаточные механические напряжения в проволоке, улучшает ее свиваемость с катушек в процессе разварки (табл. 4).

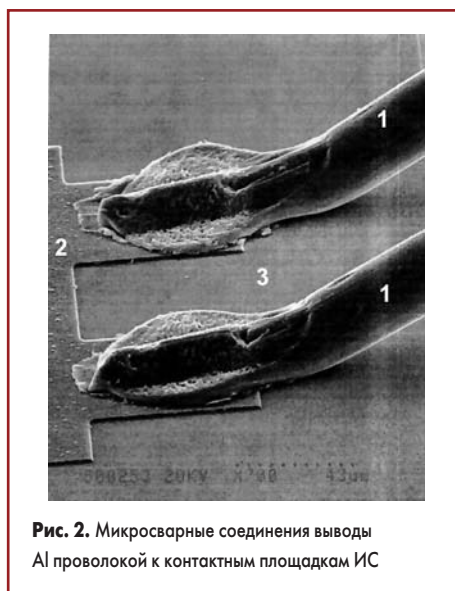
Для 16-выводных корпусов с покрытием Ni–В получены положительные результаты не только в процессе УЗ-сварки (табл. 3), но и после воздействия технологических факторов. Случаи разрушений микросварных соединений на покрытии Ni–В при проверке их прочности на разрыв не превышают 2%. Микросварные соединения имеют правильную форму с коэффициентом деформации 0,6–0,7 (рис. 2).

**Таблица 3.** Прочность и характер места обрыва соединений после различных операций

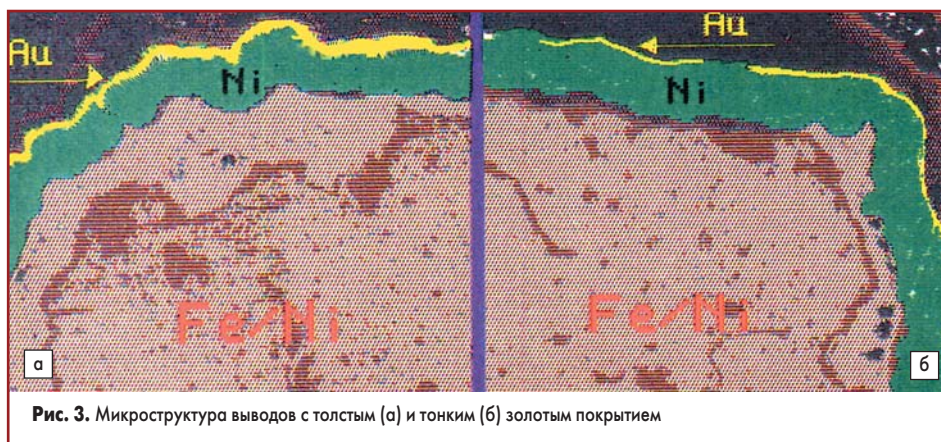
Тип корпуса и покрытия	После разварки		После воздействия температуры +150 °C		После 20 термоциклов	
	Прочность, г	Характер обрыва	Прочность, г	Характер обрыва	Прочность, г	Характер обрыва
14-выв. Ni–В	7,5–15	4% – отлип 96% – обрыв	6,5–11	26% – отлип 74% – обрыв	6–11	40% – отлип 60% – обрыв
16-выв. Ni–В	8–15	100% – обрыв	6–11	2% – отлип 98% – обрыв	7–10	100% – обрыв
14-, 16-выв. Au 3–6 мкм	8–15	100% – обрыв	7–13	100% – обрыв	6,5–13	100% – обрыв

**Таблица 4.** Прочность проволоки и соединений на разрыв

Тип проволоки	Параметры проволоки, прочность/удлинение		Тип корпуса для разварки	Прочность соединений на разрыв, г	Характер места обрыва соединений при контроле
	исходной	после отжига			
Ак0,9ПТ35	32–34 г 1–2%	18–20,5 г	14-, 16-выводные	4,5–8	20% отлип от трав. 80% обрыв по пров.
		2,5–5%			
		21–27 г 1,5–3%			
Ак0,9ПМ35	21–25 г 3–5%	28–30 г	8–14	4,5–8	4% отлип от трав. 60% обрыв по пров.
		1–2,5%			
		Не отжигается			4% отлип от трав. 96% обрыв по пров.


**Рис. 2.** Микросварные соединения выводы Al проволокой к контактным площадкам ИС

Различная устойчивость микросоединений к технологическим факторам (температура, циклическое изменение температуры) 14- и 16-выводных ИМС обусловлена, по всей вероятности, тем фактом, что закрепление 16-выводных корпусов на позиции разварки жесткое (ручной столик), а для 14-выводных осуществляется автоматическая подача корпуса в зону сварки на кассете-носителе, что не обеспечивает столь жесткого закрепления кор-


**Рис. 3.** Микроструктура выводов с толстым (а) и тонким (б) золотым покрытием

пуса в процессе УЗ-сварки. Кроме того, в этих типах корпусов покрытие Ni–В наносится на различную основу.

Установлено, что качество лужения выводов с тонким покрытием удовлетворительное и соответствует качеству лужения внешних выводов корпусов с толстым золотым покрытием как в составе поставки корпусов, так и в составе микросхем после цикла изготовления и технологических испытаний, включая ЭТТ в течение 168 ч. На рис. 3б видно, что золото толщиной 0,1 мкм равномерно покрывает никель толщиной 6 мкм. При лужении золото полностью растворяется в оловянно-свинцовом припое, который имеет одинаковую толщину 16–17 мкм для толстых и тонких покрытий и равномерно смачивает основу Fe–Ni (рис. 4).

Установлено, что при соблюдении условий хранения корпусов в соответствии с ТУ корпуса с тонким покрытием обеспечивают технологичность сборки микросхем в течение срока сохраняемости. Сборка микросхем в 14- и 16-выводных корпусах с тонким золотым покрытием позволяет получить такой же высокий процент выхода годных микросхем, как и при использовании корпусов с покрытием золотом в 4–6 мкм. Однако при этом не требуется проведения таких дополнительных операций по лужению внешних выводов, как для покрытия сплавом Ni–В.

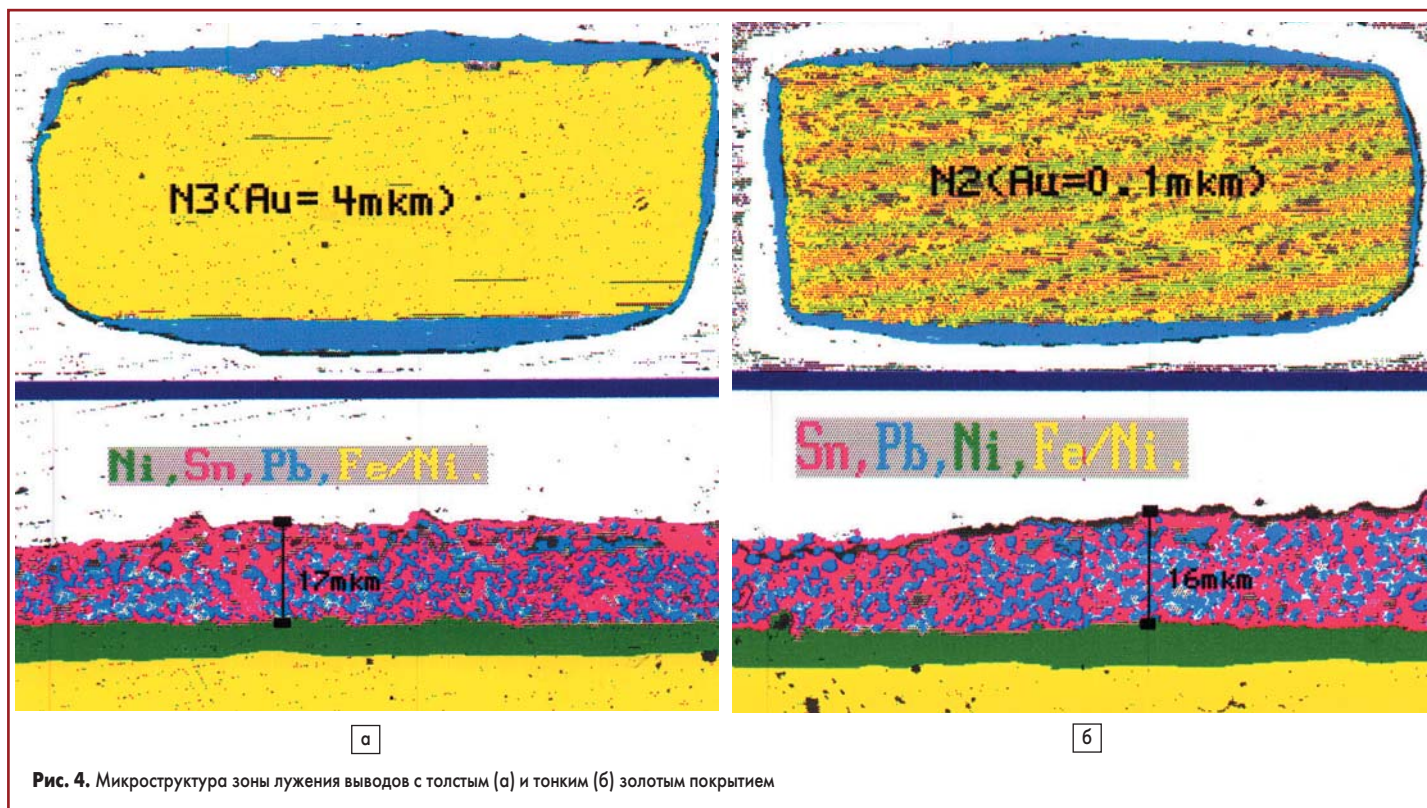


Рис. 4. Микроструктура зоны лужения выводов с толстым (а) и тонким (б) золотым покрытием

**Заключение**

Использование корпусов с тонким (0,1–0,2 мкм) золотым покрытием позволяет снизить затраты на их изготовление и уменьшить цену на корпус примерно в 5 раз, а расход золота — в 20 раз. Тонкие химические слои золотого покрытия обеспечивают создание качественных сварных соединений алюминиевой проволокой методом УЗ-сварки в диапазоне существующих режимов. Динамика изменения прочности межсоединений при воздействии технологических факторов и испытаний такая же, как и у корпусов с покрытием толщиной 3–6 мкм. При соединении кристаллов методом приклейки позволяет исключить термоудар на кристалл и корпус, в 2 раза снижает величину механических напряжений в системе «кристалл – дно корпуса». Замена золотого покрытия на корпусах ИС на Ni–В для 14-выводных микросхем неадекватна с точки зрения надежности микросхем в длительном процессе их эксплуатации, так как не исключается вероятность от-

казов ИС, связанных с разрушением сварных соединений на травере.

**Литература**

1. Емельянов В. А. Корпусирование интегральных схем. Минск: Полифакт, 1998.
2. Малышев В. М., Румянцев Д. В. Золото. М.: Металлургия, 1979.
3. Гуськов Г. Я., Блинов Г. А., Газаров А. А. Монтаж микросхем радиоэлектронной аппаратуры. М.: Радио и связь, 1986.
4. Груев И. Д., Матвеев Н. И., Сергеева Н. Г. Электрохимические покрытия изделий радиоэлектронной аппаратуры. М.: Радио и связь, 1988.
5. Ерусалимчик И. Г., Верников М. А. Влияние свойств гальванических осадков золота на качество микросварных соединений // Электронная техника. Сер. 2. 1978. Вып. 3 (121).
6. Гериш Т. В., Ефимов В. А., Яскевич М. Е. Способ получения золотых покрытий вы-

7. Ерусалимчик И. Г., Миронов Г. А. Гальванопокрытия в производстве полупроводниковых приборов и интегральных схем // Электронная промышленность. 1980. Вып. 1.
8. Емельянов В. А., Ланин В. Л., Ласточкина Н. Ф. Сборка ИМС в корпусах с ультратонким покрытием // Материалы, технологии, инструменты. 1998. Т. 3. № 2.
9. Кублановский В. С., Литовченко К. И., Емельянов В. А. Влияние режимов электролиза на структуру и физико-механические свойства золотых покрытий // Гальванотехника и обработка поверхности. 1993. Т. 2. № 3.
10. Кушнер Л. К., Хмыль А. А., Кузьмар И. И. Влияние периодических токов на структуру золотых покрытий // Проблемы проектирования и производства радиоэлектронных средств: Материалы II Междунар. конф. 15–17 мая 2002. Новополюцк, 2002.
11. Емельянов В. А. Технология микромонтажа интегральных схем. Минск: Бел. наука, 2002.