

7. Ланин В. Л., Чернышев И. Н. Управление амплитудой колебаний магнитострикционных преобразователей // Приборы и системы управления.— 1996.— № 10.— С. 37—38.  
 8. Ланин В. Л., Чернышев И. Н., Бондарик В. М. Контроль амплитуды вибраций в ультразвуковом технологическом оснащении // Там же.— 1998.— № 10.— С. 61—63.  
 9. Ланин В. Л., Хмель А. А. Виброметр // Приборы и техника управления.— 1993.— № 4.— С. 244—245.  
 10. Ланин В. Л. Бесфлюсовая ультразвуковая пайка в электронике // Технологии в электронной промышленности.— 2007.— № 4.— С. 23—27.

11. Lystrup F. Measurement of the ultrasonics effect in an ultrasonic solder bath // Welding J.— 1976.— Vol. 55, N 10.— P. 309—313.  
 12. Lanin V. L. Ultrasonic soldering in electronics // Ultrasonics Sonochemistry.— 2001.— N 8.— P. 379—385.  
 13. Кундас С. П., Ланин В. Л., Достанко А. П., Тявловский М. Д. Ультразвуковые процессы в производстве изделий электронной техники. Т. 2. / Под общ. ред. А. П. Достанко.— Минск: Бестпринт, 2003.— С. 126—146.  
 14. Томаль В. С., Ланин В. Л. Ультразвуковая очистка микро-рельефных поверхностей оптоэлектронных изделий // Фотоника. (Прилож. к ж-лу «Электроника: Наука, Технология, Бизнес»).— 2007.— № 4.— С. 35—40.

*Д. т. н. С. П. НОВОСЯДЛЫЙ, Р. М. ИВАНЮК*

Украина, г. Ивано-Франковск, Прикарпатский национальный университет им. Василия Стефаника  
 E-mail: stepanivanyuk@rambler.ru

Дата поступления в редакцию  
 07.12 2007 г.

Оппонент А. Ф. КЕРЕНЦЕВ  
 (Завод «Транзистор», г. Минск)

## ВЛИЯНИЕ ЛЕГИРУЮЩИХ ДОБАВОК НА ТЕПЛОСТОЙКОСТЬ И ТЕПЛОПЕРЕДАЧУ НИКЕЛЕВЫХ ПОКРЫТИЙ КОРПУСОВ ИС

*Проведен комплекс исследований для выбора оптимальной легирующей добавки к никелевому гальваническому сплаву для повышения теплостойкости, теплопередачи, свариваемости корпусов интегральных схем.*

Никелевые пленки в последнее время широко применяются в качестве технологического покрытия корпусов интегральных схем. С одной стороны, это связано с дефицитностью драгоценных металлов, которые использовались для полного или локального покрытия корпусов. С другой стороны, проводится поиск путей повышения теплостойкости и теплопроводности таких корпусов в условиях их автоматического монтажа и сварки внутренних проводников ИС. Однако существенным недостатком пленок из чистого никеля является не только низкая их теплостойкость, но и нестабильность контактного сопротивления при ультразвуковой сварке алюминиевых проводников с контактными площадками корпусов, снижение теплопередачи в таких корпусах. Это связано с тем, что уже при температуре 250—300°C в воздушной среде наблюдается интенсивный рост пленки окиси никеля, что не позволяет использовать такие корпуса для автоматического монтажа и ультразвуковой сварки внутренних выводов [1, 2].

Для повышения температурной стойкости никелевых покрытий рекомендуется легировать никель тугоплавкими металлами, например Co, W, Mo, Re. С помощью современных средств микроанализа установлены закономерности изменения зернистости, микротвердости, теплопроводности, пористости и структуры покрытий Ni-B, Ni-P, Ni-Re, выявлены основные физико-химические процессы, протекающие в их структуре.

Однако существующие электролиты для гальванического нанесения таких покрытий имеют очень сложную рецептуру и технологию нанесения, а полученные пленки характеризуются высокими внутренними напряжениями и микротвердостью, хрупкостью, низкой температурой теплопередачи, что существенно повышает их тепловое сопротивление [2, 3].

Для увеличения разрывных усилий ультразвуковых соединений на контактных площадках кристаллов и повышения коррозионной стойкости таких соединений широко используются алюминиевые сплавы, легированные редкоземельными металлами [4]. Поэтому в микроэлектронике для сварки начали использовать микропровод из алюминия, легированного кремнием (АК09 ПМ-35). Это также требует дополнительных исследований влияния легирующих добавок на разрывные усилия ультразвуковых соединений алюминиевого микропровода с ИС.

Легирование никеля бором также влияет на температурную стабильность сплава, а микротвердость, хрупкость и теплопередачу можно изменить технологически путем температурного отжига [4]. Изучению свойств гальванического никелевого сплава с разными легирующими компонентами посвящены многие исследования, однако достижение высокой воспроизводимости и чистоты гальванического покрытия остается проблематичным. Таким образом, нет полной ясности в вопросах использования легированного никеля для покрытия корпусов ИС в технологии автоматизированного монтажа.

Цель данной работы — провести комплекс исследований для выбора оптимальной легирующей добавки к никелевому гальваническому сплаву для повышения теплостойкости, теплопередачи, свариваемости корпусов интегральных схем.

Исследовалось гальваническое покрытие Ni–В, т. к. оно имеет меньшие внутренние напряжения, более высокую коррозионную стойкость и микротвердость, чем покрытие, полученное химическим способом.

При изготовлении металлокерамических корпусов интегральных схем на основу корпуса наносится гальваническое покрытие, что обеспечивает защиту корпуса от коррозии. Для этого обычно используется комбинированное гальваническое покрытие никелем (6—9 мкм) и золотом (3—4 мкм). При локальном золочении или посадке кристаллов ИС на клей с последующей ультразвуковой сваркой именно покрытие Ni–В в роли финишного покрытия представляет большой интерес благодаря повышенной стойкости к окислению [5]. Для корпусов с небольшим числом выводов (<24) оптимален гальванический способ нанесения покрытия, т. к. в этом случае можно использовать барабанную технологию, что обеспечивает и качество, и экономическую эффективность. Исследовалось повышение теплостойкости корпусов, снижение теплового сопротивления, повышение разрывных усилий ультразвуковых соединений и качества герметизации микросхем на корпусах типа 301.12.1, 041.14.3, 201.14.1.

Процесс термического окисления Ni с примесями бора должен протекать медленнее, чем процесс термического окисления чистого Ni. При окислении бора выделяется 302, а при окислении Ni — 58 ккал/моль [5]. Можно считать, что не будет происходить окисления поверхностных атомов Ni, когда на его поверхности находится бор, т. е. бор играет роль замедлителя процесса окисления никеля.

Для нанесения покрытия Ni–В использовали электролит следующего состава: NiSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O (160—200 г/л), NiCl<sub>2</sub>·6H<sub>2</sub>O (25—35 г/л), натрий лимонно-кислый трехзамещенный (210—220 г/л), (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (15—25 г/л), дикарбаундекаборат калия KС<sub>2</sub>В<sub>9</sub>Н<sub>12</sub>, рН=7—7,5. Время процесса гальванического никелирования для получения покрытия толщиной 0,3—2,4 мкм при плотности тока 0,25 А/дм<sup>2</sup> составляло 15—30 мин. Приготовленный электролит очищался активированным углем на протяжении 24 ч. Для гальванического процесса использовались аноды с никелевым слоем НПА-1 и НПА-2.

Корректирование раствора проводилось периодически по результатам прохождения электрического тока через электролит борной добавкой из концентрата, содержащего 8—10 г/л KС<sub>2</sub>В<sub>9</sub>Н<sub>12</sub>. Концентрация бора в покрытии определялась химическим способом методом потенциометрического титрования и методом послыонного оже-спектрального анализа и составляла 0,7—1,2%.

Для определения теплостойкости покрытия проводили температурное старение корпусов и схем в воздушной среде в диапазоне температуры 300—500°С в течение 15—60 мин. Сварку алюминиевых проводников марки АК09ПМ-35 осуществляли на ультразвуковой установке типа УЗСМ-2,5. Режим сварки подбирался опытным путем, исходя из усло-

вий получения максимальных разрывных усилий для данного микропровода и контактных площадок, сформированных магнетронным распылением алюминиевого сплава АКГо-1-1: амплитуда колебаний инструмента 0,8—1,4 мкм, давление инструмента на микропровод 0,3—0,5 Н, время сварки 0,03—0,05 с, разрывное усилие 0,12—0,15 Н.

Контроль прочности сварных соединений проводили на установке типа 12 МП-0,05/100-1 методом натяжения вывода под углом 45° к плоскостям сварного соединения. Исследовались по 100 штук каждого типа рассматриваемых корпусов с микросхемами, изготовленными согласно оформленному технологическому процессу. Проводилось также исследование влияния концентрации бора в никелевом покрытии корпусов на величину теплового сопротивления и структуру покрытия. Этот вопрос особенно актуален при переходе к субмикронной технологии, когда тепловое сопротивление играет важную роль в обеспечении термолокальной стабильности электрических параметров больших интегральных схем. Оценка сварных соединений проводилась по средним значениям разрывного усилия, по результатам контроля герметичности и величине коэффициента вариации  $K_v$ , который характеризует воспроизводимость качества ультразвуковой сварки внутренних алюминиевых проводников и герметичности и определяется по формуле:

$$K_v = \frac{\sigma_{cp}}{P_{cp}},$$

где  $P_{cp}$  — среднее арифметическое значение прочности или на-  
теканье;

$\sigma_{cp}$  — среднее квадратическое отклонение этих значений.

Параллельно с оценкой сварки на герметичность также исследовались изменения структуры и фазы покрытия (Ni<sub>3</sub>C, Ni<sub>2</sub>B, NiB), его механических свойств в составе поверхностного слоя после термообработки корпусов и схем в различных средах: нейтральной (Ar, N<sub>2</sub>), окислительной (сухой и влажный O<sub>2</sub>) и хлорной (заводненный хлористый водород). Изменение структуры оценивалось по величине зерна, жесткость и фаза никелевого покрытия оценивались с помощью электронного растрового микроскопа типа ЭМ-100СХ. Поверхностный слой покрытия исследовался масс-спектрометрическим методом вторичных тонов и оже-спектроскопии. Коррозионная стойкость покрытия оценивалась при воздействии хлоридсодержащей атмосферы (морского тумана).

Покрытие Ni–В наносили в барабанах двух размеров с центральным осевым токоотводом: 1) длиной 73 мм, диаметром 59 мм (с загрузкой 8—10 корпусов) с общей площадью покрытия 6,5—7,0 см<sup>2</sup>; 2) длиной 175 мм, диаметром 150 мм (с загрузкой 150—300 корпусов). Степень перфорации в обоих барабанах составляла 25—30%, а частота вращения барабана 6—10 об./мин.

Анализ структуры поверхности и свойств гальванического покрытия Ni–В с помощью растровой

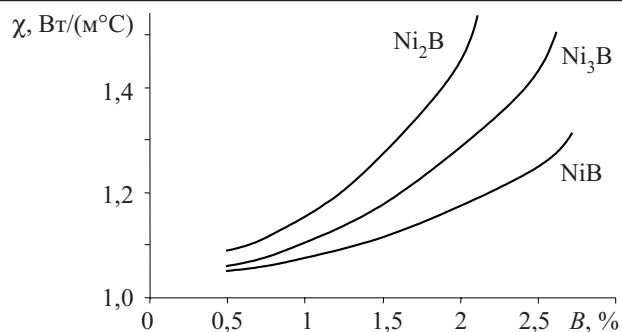


Рис. 1. Зависимость теплопроводности покрытия Ni–B от концентрации бора *B* для разного фазового состава

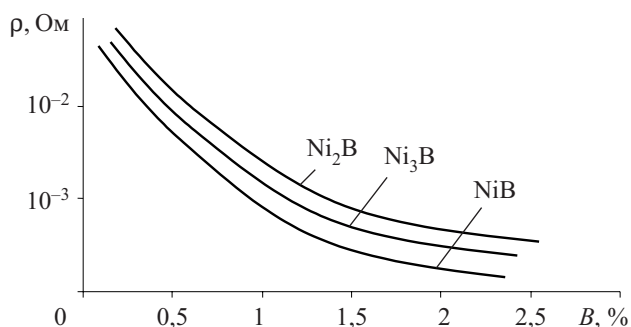


Рис. 2. Зависимость переходного сопротивления покрытия Ni–B от концентрации бора для разного фазового состава

микроскопии показал, что заметные изменения в покрытии происходят только после термообработки и сварки внутренних алюминиевых выводов и корпуса при температуре 450°C в воздухе и кислороде на протяжении 30 мин. Термостойкость корпусов определяется толщиной покрытия и составляет 470°C для толщины 1,2–1,5 мкм, что указывает на пассивирующее действие бора в окислительных процессах. Наблюдается небольшое снижение пористости покрытия и увеличение зернистости пленки от 2–5 до 10–25 мкм уже при температуре 500°C. Это указывает на диффузию атомов бора к поверхности никелевого покрытия. Такой механизм в значительной степени подтверждается результатом спектрального анализа. Содержание бора в покрытии увеличивается к поверхности с образованием теплопроводной стойкой фазы Ni<sub>2</sub>B. Теплопроводность покрытия увеличивается с 0,85 до 1,35–1,54 Вт/(м·°С) (рис. 1), а переходное электрическое сопротивление покрытия становится стабильным и не превышает (3–5)·10<sup>-3</sup> Ом (рис. 2). Это указывает на то, что данное покрытие уменьшает тепловое сопротивление корпуса из-за повышения теплопроводности.

Микротвердость покрытия заметно снижается (от 480–500 до 380–420 Н/мм<sup>2</sup>) при увеличении как толщины покрытия (до 1,5 мм), так и температуры термообработки (>470°C) (рис. 3). Это положительно влияет на качество ультразвуковой сварки внутренних алюминиевых выводов (амплитуда ультразвуковых колебаний и ток сварки уменьшается) и на герметичность корпусов, которая не превышает 7,5·10<sup>-19</sup> л·мкм рт. ст./с.

Качественное покрытие Ni–B фазы Ni<sub>2</sub>B формируется с помощью электролита при гальваническом

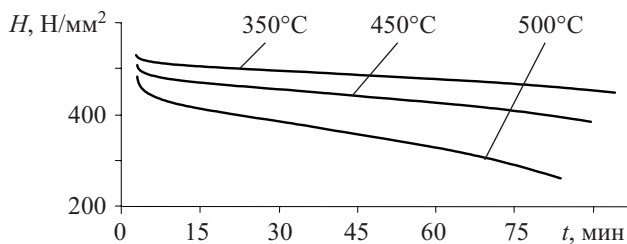


Рис. 3. Зависимость микротвердости покрытия Ni–B от времени термообработки при различных значениях температуры

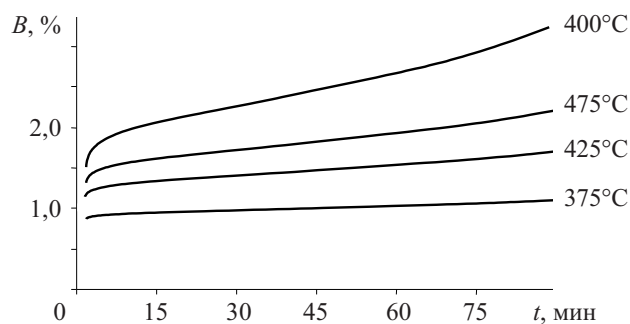


Рис. 4. Зависимость концентрации бора на поверхности покрытия Ni–B от времени термообработки при различных значениях температуры

осаждении в барабане. Анализ поверхностного слоя покрытия толщиной 300 Å методом оже-спектроскопии показал (рис. 4), что при термообработке, начиная с 420°C, происходит диффузия бора к поверхности и обогащение ее бором. Процесс ускоряется при температуре 450–520°C. Содержание бора в поверхностном слое также увеличивается при росте времени термообработки. Это указывает на то, что бор выступает в роли барьерного элемента, т. к. при этом тепло- и электропроводность увеличиваются, что заметно стабилизирует тепловое и переходное электрическое сопротивление. Если на такое покрытие локально, под монтаж кристалла, нанести золотое покрытие, то тепловое сопротивление корпусов 301.12.1, 041.14.3 может достичь величины 175–190°C/Вт. Если проводить обработку в течение часа при *T*=425°C, то в поверхностном слое покрытия Ni–B начинает увеличиваться концентрация кислорода, но процесс идет медленно, а содержание кислорода не превышает 3–5%. Окисление ускоряется при достижении температуры *T*=500°C и обработке на протяжении 45–60 мин.

Барьерные свойства борной примеси в никелевом покрытии корпусов интегральных схем подтверждает также тот факт, что прочность сварных соединений покрытия Ni–B зависит от условий термообработки. Величина разрывных усилий ультразвуковых соединений без термообработки равна 0,11–0,15 Н. В условиях термообработки при *T*=475°C происходит некоторое снижение величины разрывных усилий, а при *T*=500°C их величина уменьшается на 25–40% и составляет 0,6–0,9 Н (рис. 5). Следует также отметить, что по коррозионной стойкости данное покрытие не уступает цитратному золочению толщиной 1–1,5 мкм. Кроме того, борная при-

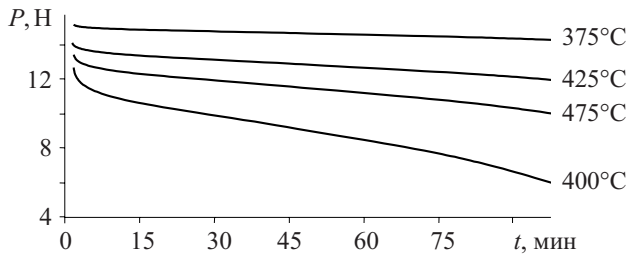


Рис. 5. Зависимость прочности ультразвуковых соединений алюминиевого микропровода АК09ПМ-35 на покрытии Ni-B от времени термообработки при различных значениях температуры

месь положительно влияет на выравнивание коэффициента термического линейного расширения, который приближается к величине КТЛР кремния ( $2,6-2,9 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ ).

**Результаты исследований и выводы**

1. Оптимальная концентрация бора в покрытии никель-бор составляет 0,9—1,4% для данного состава электролита и положительно влияет на тепло- и электропроводность, адгезию, механическую прочность сварных соединений внутренних алюминиевых выводов, герметичность и коррозионную стойкость корпусов интегральных схем.

2. Покрытие Ni-B с высокой стабильностью физико-химических параметров получается в процессе гальванического цитратного никелирования, в котором боросодержащая добавка вводится в электролит в виде дикарбаундекабората калия  $\text{K}_2\text{C}_2\text{B}_{10}\text{H}_{12}$ .

3. Борная присадка в никелевом покрытии увеличивает его теплопроводность в 1,5—2 раза, что существенно снижает тепловое сопротивление корпусов интегральных схем, например для корпусов 301.12.1 — с 200 до 175—190°C/Вт.

4. Легирование бором никелевого покрытия траверс корпусов интегральных схем повышает разрывные усилия ультразвуковых соединений корпусов и алюминиевых (легированных кремнием и гольмием) проводов на 12—20% и обеспечивает высокую коррозионную стойкость корпусов интегральных схем.

5. Покрытие Ni-B можно широко использовать для монтажа кристаллов на теплоэлектропроводный клей на основе поликремния и силицида. Дополнительное локальное золочение позволяет выполнять монтаж кристаллов через эвтектический подслои Si-Au.

**ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ**

1. Ерусалимчук И. Г., Комарова Г. Г., Баранова В. С. Электрохимические покрытия никелем с малым содержанием бора для корпусов полупроводниковых приборов // Электронная техника. Сер. 2. Полупроводниковые приборы. — 1986. — Вып. 6 (185). — С. 72—74.
2. Besenyei E., Zsoldos B. Structure and electrical properties of amorphous Ni-P thin films // Vacuum. — 1983. — Vol. 33, N 1/2. — P. 35—41.
3. Baudrand D. W. Use of electroless nickel to reduce gold requirements // Plating and surface finishing. — 1981. — Vol. 68, N 12. — P. 57—60.
4. Технологія СБИС. Ч. 2 / Под ред. С. Зи. — М.: Мир, 1986.
5. Новосядлий С. П. Фізико-технологічні основи субмікронної технології ВІС. Івано-Франківськ: Сімік, 2003.

в портфеле редакции в портфеле редакции в портфеле редакции в портфеле редакции

в портфеле редакции в портфеле редакции в портфеле редакции в портфеле редакции

- Асимметрия электрических процессов в импульсных преобразователях постоянного напряжения модульной структуры с граничным режимом функционирования. (Украина, г. Одесса)
- Особенности формирования быстровосстанавливающихся кремниевых диодов. (Украина, г. Запорожье)
- Расчет транспортных свойств детекторов гамма-излучения на основе полупроводников. (Украина, г. Харьков)
- Симметричный двухкоординатный фотодиод. (Украина, г. Черновцы)
- Алмазные многоэлементные фотоприемные устройства УФ-диапазона. (Россия, г. Москва, г. Фрязино)
- Оптические сенсоры газов на основе полупроводниковых источников ИК-излучения. (Украина, г. Мукачево)
- Оптико-электронное устройство в системе контроля габаритов погрузки железнодорожного подвижного состава. (Республика Беларусь, г. Минск)
- Высокочувствительный метод выявления “горячих точек” в кристаллах изделий микроэлектроники. (Украина, г. Киев)
- Многоканальный измеритель деформации для исследования конструкционных материалов. (Украина, г. Львов)



- Вторичный эталон яркости на базе галогенной лампы с рассеивателем. (Украина, г. Киев)
- Электронная система регистрации параметров механических колебаний. (Украина, г. Киев)
- Термоэлектрические микрогенераторы, современное состояние и перспективы. (Украина, г. Черновцы)

в портфеле редакции в портфеле редакции в портфеле редакции в портфеле редакции

в портфеле редакции в портфеле редакции в портфеле редакции в портфеле редакции