

# Покриття радіочастотних з'єднувачів

Кива Джуринський

**Радіочастотні з'єднувачі є необхідними компонентами систем зв'язку та телекомунікації, авіаційної та авіакосмічної апаратури, медичної техніки, систем керування транспортом і багатьох інших систем. Найважливіше місце в конструкції та технології виготовлення радіочастотних з'єднувачів займають покриття їхніх металевих поверхонь. Розгляду складу та властивостей сучасних покриттів радіочастотних з'єднувачів присвячена ця стаття.**

## ОСНОВНІ ВИДИ ПОКРИТТІВ

У радіочастотних з'єднувачах застосовують невелику номенклатуру металевих матеріалів. Корпуси комерційних, а також немагнітних з'єднувачів виготовляють з латуні, рідше — з бронзи, а корпуси герметичних з'єднувачів, у яких герметичність забезпечує металоскляний спай, — із залізо-нікель-кобальтового сплаву Kovar. Корпуси вимірвальних, метрологічних і складових з'єднувачів сантиметрового і міліметрового діапазонів довжин хвиль виконують із пасивованої нержавіючої сталі. Внутрішні цангові провідники з'єднувачів усіх типів, як правило, виготовляють із термічно зміцненої берилієвої бронзи. Для виготовлення центральних штирьових провідників застосовують латунь або берилієву бронзу.

Параметри радіочастотних з'єднувачів значною мірою визначаються складом і властивостями покриттів їхніх зовнішніх і внутрішніх провідників. Тому провідні компанії постійно ведуть роботи зі створення нових, досконаліших і економічніших покриттів. Покриття, які застосовують нині компанії — виробники з'єднувачів та інших

електронних компонентів, наведено в таблиці 1 [1–12, 16–31].

## ВИМОГИ, ЩО ВИСУВАЮТЬСЯ ДО ПОКРИТТІВ

До покриттів радіочастотних з'єднувачів висувають такі вимоги:

- висока електропровідність, низький і стабільний контактний опір;
- висока корозійна стійкість;
- зносостійкість;
- температурна стійкість;
- хороша паяність;
- немагнітність;
- низький рівень інтермодуляційних спотворень;
- оптимальне співвідношення ціна/якість;
- екологічність: відсутність у складі покриття шкідливих речовин (відповідність директиві RoHS).

Розглянемо перераховані характеристики докладніше.

## Контактний опір

З'єднання внутрішніх і зовнішніх провідників вилок та розетки з'єднувача відбувається внаслідок утворення точкових контактів, тому що навіть ретельно оброблені поверхні обох провідників мають нерівності: виступи та западини (рис. 1) [1, 13].

Крім того, на поверхні металів адсорбуються молекули газів навколишнього середовища, і утворюються найтонші непровідні плівки оксидів, сульфідів і різних органічних забруднень. У результаті спільної дії точкових контактів і непровідних плівок виникає контактний опір, який залежить від багатьох чинників: питомого електричного опору, твердості, пластичності та корозійної стійкості покриття, площі та шорсткості поверхні контакту, умов нанесення покриття тощо [1, 2, 13]. У технічних умовах на з'єднувачі різних типів наводять такі норми величини опору: 1...3 мОм — для зовнішніх і 3...5 мОм — для внутрішніх провідників [2].

Низький контактний опір забезпечують покриття з низьким питомим елек-

Таблиця 1. Покриття радіочастотних з'єднувачів провідних виробників	
Покриття	Позначення (виробник), склад, товщина
Стандартне золоте покриття (для корпусів із латуні)	Gold plated (Harting, Telegärtner та ін.): золото — 0,8 мкм, прошарку міді — 1 мкм і нікелю — 2 мкм
Тонке покриття «тверде» золото по прошарку хімічного нікелю	Hard gold (сплав золота з 0,1–0,3% кобальту або нікелю): AuroDur (Rosenberger): хімічний нікель — 2–3 мкм, «тверде» золото — 0,15 мкм; NiP-Au (Telegärtner, Harting): хімічний нікель — 4 мкм, «тверде» золото — 0,1 мкм; Sucoplo (Hubert+Suhner): «тверде» золото 99,7% — 0,1–0,2 мкм, хімічний нікель (фосфор 10,5%) — 2 мкм
Гальванічний нікель	Nickel plated (Harting, Telegärtner): нікель — 5 мкм, мідь — 2 мкм.
Хімічний нікель	Нікель з 8–13% фосфору. NPGR (Radiall): понад 10% фосфору; Sucodur (Hubert+Suhner): нікель з 10,5–13% фосфору
«Біла бронза»	Сплав олово-мідь-цинк: 50–55% міді, 30–35% олова, 15–17% цинку, 0,5–4 мкм. BBR (Radiall); Miralloy 2844 (Umicore Electroplating): 55% міді, 30% олова, 15% цинку; Sucoplate (Hubert+Suhner); Secoplate (SEC Plating); Tri-M3™ (Electro-Spec, Inc.); Optalloy (Rosenberger); Telealloy (Harting): 3 мкм; Albaloy (Delta Electronics)
«Біла бронза», покрита золотом	GBR (Radiall): «тверде» золото — 0,2 мкм поверх BBR — 1,8 мкм.
Срібло, покрите «білою бронзою»	Sucoplate 30 (Hubert+Suhner): срібло — 2 мкм, Sucoplate — 0,5 мкм; Optargen (Rosenberger, Telegärtner): срібло — 2 мкм, «біла бронза» — 0,5 мкм
Срібло, сплав срібло-сурма	Silver plated (Harting, Telegärtner): срібло — 5 мкм, підшар міді — 2 мкм
Паладій-нікель, покритий тонким шаром золота	Твердий розчин паладію (70–80%) і нікелю (20–30%), «тверде» золото — менше ніж 0,25 мкм (FCL, Molex, TE Electronics та ін.)



а)



б)

**Рис. 1.** Область контактування (а) і залежність контактної опору від кількості контактних точок (б)

тричним опором, який необхідний також для зменшення прямих НВЧ-втрат у з'єднувачі. Найменшу величину питомого опору мають срібне та золоте покриття, найбільшу — хімічно осаджений нікель, що містить до 13% фосфору. Для забезпечення низького і стабільного в часі контактної опору найбільш придатні золоті покриття, оскільки золото в більшості середовищ не вступає в реакцію з хімічними речовинами й за достатньої товщини зберігає свою провідність протягом тривалого часу. При цьому гальванічне покриття з чистого «м'якого» золота має в 3 рази нижчий контактний опір, ніж «тверде» золото з добавками кобальту або нікелю [12].

### Корозійна стійкість

Вимоги до корозійної стійкості радіочастотних з'єднувачів постійно підвищуються. Для захисту від корозії використовують покриття з благородних металів: золота, срібла і паладію, а також зі стійких до корозії «пасивних» металів: нікелю, хрому. Корозійна стійкість «пасивних» металів зумовлена присутністю на їхній поверхні тонкої (завтовшки кілька нанометрів) плівки оксиду або нітриду, що діє як захисний бар'єр між металом і навколишнім середовищем і перешкоджає глибшій корозії [23]. Найбільшу корозійну стійкість мають покриття із золота та хімічного нікелю [1, 4, 9–16].

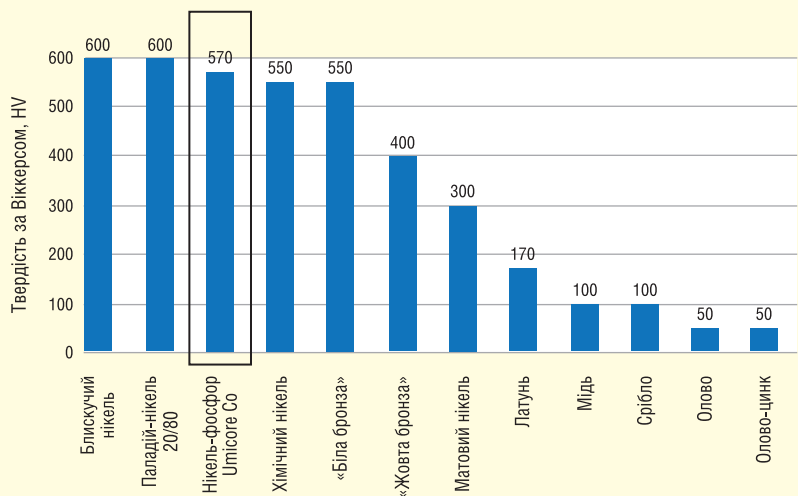
Корозійна стійкість будь-яких покриттів залежить від їхньої пористості. Пори відкривають шлях до основного матеріалу, створюючи можливість його окислення і корозії. Пористість є функцією великої кількості змінних і багато в чому залежить від товщини й структури покриттів, а також від складів електролітів і режимів осадження. У роботі [5] показано, що в золотому покритті товщиною менше ніж 0.25 мкм присутні тисячі мікроскопічних пор, хоча зовні воно має вигляд безперервного. У покриттях золотом із добавкою 0.1% кобальту за пористості 2–100 пор/см<sup>2</sup>

та діаметрі пори 7.5 нм їхній обсяг становить 0.5% [11].

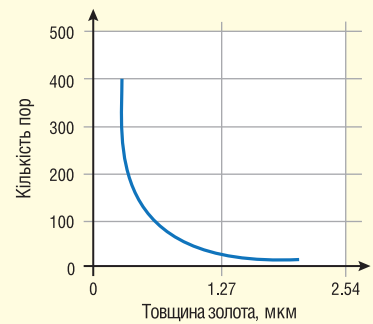
Корозійна стійкість покриттів зростає при збільшенні їхньої товщини. У міру збільшення товщини покриття в ньому зменшуються кількість і розміри пор (рис. 2, табл. 2) [22, 24]. Золоте покриття великої товщини (понад 1.25 мкм) без пор забезпечує винятково високий захист від корозії [24]. Найефективнішими є золоті покриття для з'єднувачів, що працюють за високих температур (понад +125 °С). У цьому випадку товщини покриттів золота і нікелю повинні бути збільшені [10].

### Зносостійкість

Найважливішими параметрами радіочастотних з'єднувачів є зусилля з'єднання і роз'єднання вилки і розетки та гарантована кількість таких з'єднань. Під час зчленування (з'єднання) внутрішніх і зовнішніх контактів вилки та розетки відбувається зношення покриття їхніх поверхонь. Ступінь зношення значною мірою залежить від твердості покриття. Значення твердості за Віккерсом (HV, кг/мм<sup>2</sup>) деяких покриттів і металів наведено на рисунку 3 [8].



**Рис. 3.** Твердість за Віккерсом різних покриттів і металів (виділена твердість хімічного нікелю компанії Umicore Co)



**Рис. 2.** Кількість пор у золотому покритті різної товщини

**Таблиця 2.** Пористість золотих покриттів різної товщини

Товщина золотого покриття, мкм	Кількість пор на 1 см <sup>2</sup>
0.10...0.25	600–1000
0.38...0.50	15–100
0.75...1.0	1–5

Твердість покриттів залежить від їхнього складу, технології отримання та методики вимірювання. Тому для одного і того ж виду покриття величини твердості, наведені різними компаніями, значно відрізняються. Перш за все, це стосується хімічного нікелю, в якому вміст фосфору може становити від 3–4 до 12–13%. Твердість хімічного нікелю зменшується при зниженні в ньому вмісту фосфору. У результаті термічної обробки його твердість різко зростає до 1 000 HV, безвідносно до процентного вмісту фосфору [15].

Поверхня покриття з чистого «м'якого» золота через знижену твердість більш схильна до подряпин і різних дефектів. Максимальна твердість цього покриття така ж, як у нігтя людини. Твердість золота вдалося підвищити в

кілька разів завдяки введенню до його складу невеликої кількості кобальту або нікелю, які створюють тоншу кристалічну структуру покриття. Розмір зерна «твердого» золота приблизно в 60 разів менший за розмір зерна покриття з «м'якого» золота. У результаті цього у «твердого» золота знизився коефіцієнт тертя, і воно стало менш сприйнятливим до зношення при зчленуванні контактів [12].

Коефіцієнт тертя також є важливим параметром покриття. Що він менший, то менші зусилля і більша допустима кількість циклів з'єднання і роз'єднання вилок та розетки, а також менший момент обертання гайки різьбових кабельних з'єднувачів. Допустима кількість циклів з'єднання і роз'єднання пропорційна товщині покриття: чим товще покриття, тим більша кількість циклів. Найпоширеніші товщини «твердих» золотих покриттів для з'єднувачів із підвищеною зносостійкістю — 1..2 мкм [12].

Підвищенню зносостійкості золотих покриттів значно сприяє підшар нікелю, який виконує низку функцій [4, 5, 8, 12, 15]:

1. Нікель є бар'єром для твердотільної дифузії в золоте покриття атомів міді та її легувальних металів, таких як цинк і латунь. Нікель має найменший атомний радіус — 0.128 нм, тому більші атоми інших металів не можуть проникати навіть крізь тонке (товщиною 0.8...1.5 мкм) нікелеве покриття. Завдяки цьому відбувається захист цілісності золотого покриття, що особливо важливо для тривалих застосунків за підвищених температур.
2. Нікель сприяє підвищенню корозійної стійкості, особливо золотих покриттів малої товщини. Будь-які пори в золотому покритті призведуть до нікелевого прошарку, а не до основного металу. Підшар нікелю запобігає зростанню плівок оксиду міді на поверхні золота.
3. Підшар нікелю вирівнює і зменшує шорсткість контактної поверхні, знижуючи коефіцієнт тертя і, отже, зменшуючи зношення золотого покриття.
4. Нікелевий підшар знижує ймовірність утворення тріщин у контактах, покритих «твердим» золотом.
5. Підшар нікелю з високим вмістом фосфору забезпечує високу корозійну стійкість, а підшар гальванічного нікелю високої чистоти є найкращою основою для якісного паяння. Компанія Advanced Plating Technologies рекомендує мінімальну товщину нікелевого підшару 1.25 мкм [5].

6. Гальванічний нікель — магнітний матеріал, що має досить високу хімічну стійкість, пластичність і адгезію до матеріалу, що покривається.

### Властивості хімічного нікелю

Хімічний нікель являє собою твердий розчин фосфору, вміст якого може бути в межах 1–14% за масою, і нікелю [15]. Основні властивості хімічного нікелю наведені в таблиці 3 (у таблиці наведено твердість за Кноппом — НК<sub>100</sub>, яка незначно відрізняється від твердості за Віккерсом — HV) [14].

Покриття хімічним нікелем має рівномірну товщину, високу корозійну та хімічну стійкість і стабільні електричні, теплові та фізичні властивості. Густина хімічного нікелю обернено пропорційна вмісту в ньому фосфору. Вона варіюється від 8.6...8.8 г/см<sup>3</sup> (для нікелю з дуже низьким вмістом фосфору) до 7.6...7.9 г/см<sup>3</sup> (для нікелю, що містить понад 10% фосфору) [14–16]. Коефіцієнт термічного розширення хімічного нікелю значно менший, ніж у чистого нікелю: чим більший вміст фосфору, тим менший коефіцієнт термічного розширення хімічного нікелю.

Температура плавлення чистого нікелю дорівнює +1455 °С, але зі збільшенням вмісту фосфору температура плавлення знижується майже лінійно до +880 °С для сплаву, що містить 11% фосфору. Це найнижча температура плавлення (евтектика) для системи нікель/фосфор (фосфат нікелю — Ni<sub>3</sub>P) [14, 15].

Питомий електричний опір хімічного нікелю зі зростанням вмісту фосфору зростає більш ніж на порядок, і покриття нікель-фосфор стають дедалі менш провідними [14, 15]. Це відбувається через порушення кристалічної решітки нікелю при проникненні в неї атомів фосфору.

Термічна обробка знижує міцність і пластичність покриття. Вплив температури вище +220 °С на покриття з низьким вмістом фосфору може призвести до зниження їхньої міцності та пластичності. Пластичність покриттів з високим вмістом фосфору практично не

знижується при нагріванні до температури не вище +260 °С.

Магнітні властивості нікелю високої чистоти різко знижуються зі збільшенням у ньому вмісту фосфору. Нікель, що містить понад 10–11% фосфору, стає немагнітним [14, 15]. Чим менший вміст фосфору в нікелі, тим більша коерцитивна сила — значення напруженості магнітного поля, необхідне для повного розмагнічування нікелю. Хімічний нікель залишається немагнітним навіть після термічної обробки протягом короткого часу за температури +260 °С. Магнітні властивості нікелю з 3% вмістом фосфору наближаються до магнітних властивостей чистого гальванічного нікелю, а за 11% вмісту фосфору нікель стає немагнітним. Покриття після термообробки більш магнітні, ніж без неї [16].

### Паяність

Покриття радіочастотних з'єднувачів повинно поєднувати високу корозійну стійкість з хорошою пайкою. Паяння з'єднувачів із золотим покриттям здебільшого здійснюють із використанням припоїв складу олово-свинець. Відмінною особливістю олов'яно-свинцевих припоїв є висока швидкість, з якою вони розчиняють золоті покриття [17–23]. За температури +200 °С швидкістю розчинення золота в евтектичному припої олово-свинець (температура евтектики +183 °С) перевищує 1 мкм/с. Розчинення триває доти, доки золото повністю не розчиниться, або не сформується рівноважний склад [17]. По золотому покриттю добре розтікаються всі припої. Тому під час паяння з'єднувачів необхідно ретельно підбирати й суворо дотримуватися температурно-часового режиму паяння, а також застосовувати заходи захисту від зайвого розтікання припою.

На початку 1960-х років було опубліковано роботи, які констатували зниження пластичності та перехід від в'язкого до крихкого руйнування паяних з'єднань, якщо вміст золота в припої олово-свинець становив 5–10%. Тоді ж було рекомендовано обмежити товщину золотого покриття величиною

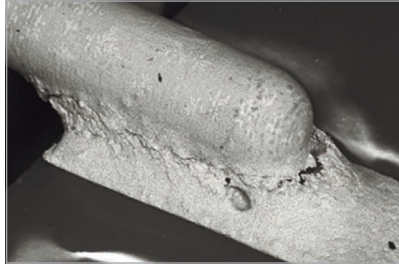
Таблиця 3. Основні властивості хімічного нікелю

Вміст фосфору, %	10–13	7–9	4–6	1–3
Температура плавлення, °С	880...900	880...980	1100...1300	1250...1360
Густина, г/см <sup>3</sup>	7.6...7.9	8.0...8.2	8.3...8.5	8.6...8.8
Твердість, НК <sub>100</sub>	400–525	500–600	625–750	725–800
Твердість, НК <sub>100</sub> після термообробки	850–950	850–1000	850–1100	900–1100
Питомий опір, мкОм·см	75...110	40...70	15...45	10...30
Магнітні властивості	Немагнітний	Слабomagнітний		Магнітний

1.25 мкм, щоб уникнути небажаного окрихчування паяного з'єднання [20]. Це пояснюється тим, що розчинність золота у твердому припої дуже мала — 0.3–0.5%. Якщо вміст золота в олов'яно-свинцевих припоях перевищує межу розчинності, утворюються тверді та крихкі інтерметалеві сполуки  $\text{AuSn}_4$ ,  $\text{AuSn}_2$  і  $\text{AuSn}$ , а також бінарний сплав зі свинцем  $\text{AuPb}_2$ .

Зниження міцності відбувається поступово та обернено пропорційно до вмісту золота. Для паяного з'єднання шириною 50 мкм товщина золотого покриття повинна бути менше ніж 0.5 мкм [19]. У цій же роботі рекомендовано обмежити товщину золотого покриття величиною 0.75 мкм, щоб вміст золота в припої не перевищив 3%, і не утворилися інтерметалічні сполуки золота з оловом.

За вмісту золота в припої понад 3–5% відбувається окрихчування паяного з'єднання [17, 19]. На рисунку 4 показано зовнішній вигляд паяного з'єднання центрального провідника з'єднувача, вкритого золотом по прошарку хімічного нікелю, зі смужкою друкованої плати, також вкритою золотом. Паяння здійснювали евтектичним припоєм



**Рис. 4.** Зовнішній вигляд паяного з'єднання центрального провідника з'єднувача зі смужкою друкованої плати

$\text{Sn63Pb37}$  (олово 63%, свинець 37%) за температури  $+210\text{ }^\circ\text{C}$ . Після паяння в з'єднанні видно тріщину [22].

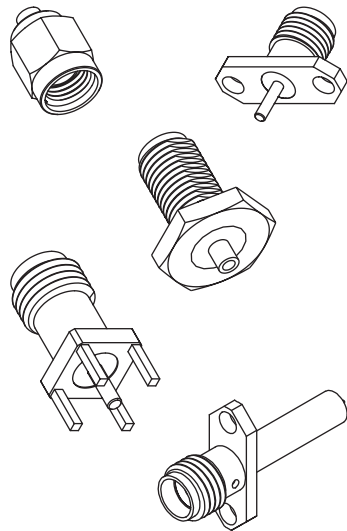
Золото легко розчиняється також і в припоях на основі індію. За температури  $+200\text{ }^\circ\text{C}$  швидкість розчинення золота становить 2 мкм/с, а за температури  $+250\text{ }^\circ\text{C}$  — 4 мкм/с. Індієві припої можна використовувати для паяння з компонентами, покритими золотом завтовшки понад 0.5 мкм. Однак з'єднання, виконані індієвими припоями, менш міцні, ніж з'єднання олов'яно-свинцевими припоями.

Після розчинення золота в припої відбувається взаємодія збагаченого золотом припою з прошарком нікелю.

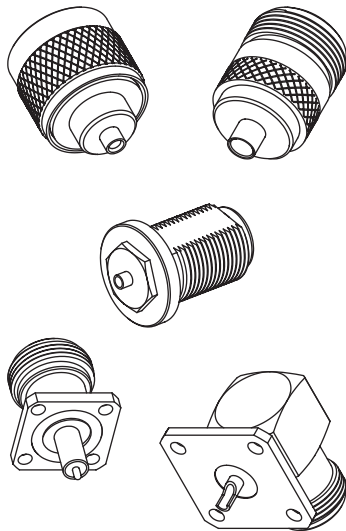
Якщо нікель не окислений, то він добре змочується припоєм і дає міцне паяне з'єднання. Щоб захистити нікель від окислення, товщина золотого покриття має становити щонайменше 0.25 мкм, оскільки за меншої товщини покриття пористе. Для забезпечення найбільш міцного паяного з'єднання рекомендується використовувати гальванічний нікель високої чистоти. Для якісного паяння з прошарком хімічного нікелю необхідно, щоб вміст фосфору в ньому становив менше ніж 8% [19].

Присутність «неблагородних» елементів, таких як кобальт і нікель, у золотих покриттях може погіршити якість паяння через можливість окислення цих елементів за температур паяння. Крім того, високий ступінь чистоти золота необхідний у тих випадках, коли відбувається термодифузія золота. Тому з'єднання термокомпресійним, термозвуковим або ультразвуковим зварюванням бажано виконувати за покриттями з чистого золота [12].

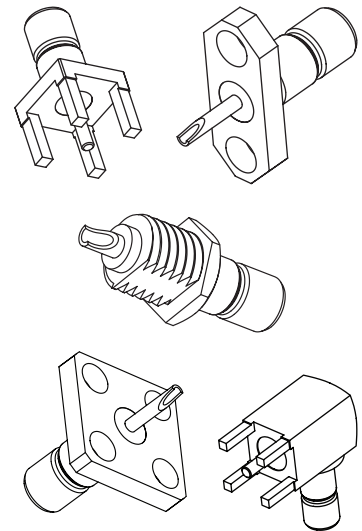
Нині у відповідності до директиви RoHS про заборону застосування свинцю використовують припої SAC (мідь-олово-срібло). У цьому разі збільшення товщини золотого покриття також



SMA



N-type



SMB



7/16, BNC, F, FME, MCX, MMCX, N, QMA, SMA, SMB, SMC, SMK, SMP, SSMA, SSMB, SSMC, TNC, UHF

**ТОВ «ЄВРОКОНТАКТ ЛТД.»**  
**+380 44 500 7991**  
**info@eurocontact.kiev.ua**

шкідливо впливає на міцність паяних з'єднань під час циклічного впливу температури [20].

### Далі буде

#### Література:

1. Heile I., Huske R. Contact plating material options for electronic connectors. A comparison of hard gold and hard gold flashed palladiumnickel (80/20). [www.harting.com/sites/default/files/2019-03/Contact-plating-material-options-for-electronic-connectors\\_0.pdf](http://www.harting.com/sites/default/files/2019-03/Contact-plating-material-options-for-electronic-connectors_0.pdf)
2. Джуринский К. Б. Современные радиочастотные соединители и помехоподавляющие фильтры. Под редакцией д.т.н. Борисова А. А. Изд-во ЗАО «Медиа Групп Файнстрит». Санкт-Петербург. 2014. 426 с.
3. Surface coating for coaxial connectors. Professional Articles, 03/2013. [www.telegartner.com](http://www.telegartner.com)
4. Kurtz O., Ларорс-Брок Ф., Данкер М. и др. Покрытие «никель-золото» исключительно высокой коррозионной стойкости. Технологии в электронной промышленности. 2011. № 4. С. 28–32.
5. Bondhus B. Advanced Plating Technologies. Gold Plating Thickness of Connectors and Contacts, 2018/04. [advancedplatingtech.com](http://advancedplatingtech.com)
6. SEC Plating Pty. High quality surface plating for rf-connectors, electrical and microwave components. [www.secp.net](http://www.secp.net)
7. Лобанов М. Л., Кардонина Н. И., Россина Н. Г., Юровских А. С. Защитные покрытия: учебное пособие. Екатеринбург: изд-во Урал. ун-та. 2014. 200 с.
8. De Poto R., Weber J., Leydecker K. Electrolytic Nickel-Phosphorus Plating — Uyemura. [www.uyemura.com](http://www.uyemura.com)
9. Hard Gold plating — Alternate Finishing. [www.alternatefinishing.com](http://www.alternatefinishing.com)
10. Electro-Spec Blog. J. Smith. Use of Gold Plating in Electronics. <https://plating.electro-spec.com/blog/use-of-gold-plating-in-electronics>
11. Ланин В., Емельянов В. Снижение толщины золотых покрытий при изготовлении интегральных схем. Технологии в электронной промышленности. 2008. № 7. С. 62–65.
12. Lindstedt M. Hard Gold Plating vs. Soft Gold Plating. Products Finishing. [www.pfonline.com](http://www.pfonline.com)
13. Бондаренко И. Б., Гатчин Ю. А., Иванова Н. Ю., Шилкин Д. А. Соединители и коммутационные устройства. СПб: СПб ГУИТМО. 2007.
14. Electroless Nickel. Properties of Electroless Nickel. MacDermid Enthone. <https://macdermidenthone.com/solutions/electroless-nickel/reduced-ion-electroless-nickel>
15. Parkinson R. Properties and applications of electroless nickel. [www.nickelinstitute.org](http://www.nickelinstitute.org)
16. Вансовская К. М. Металлические покрытия, нанесенные химическим способом. Л. Изд-во «Машиностроение». 1985. 103 с.
17. Soft soldering gold coated surfaces — Core. <https://core.ac.uk>
18. What is the Gold Plating Thickness Standard for Connectors? [www.sharrettsplating.com](http://www.sharrettsplating.com)
19. Soldering to Gold Over Nickel Surfaces — Kester. [www.kester.com](http://www.kester.com)
20. Hillman C., Blattau N., Arnold J. и др. Gold embrittlement in lead free solder. <https://smtnet.com/library/files/upload/Gold-Embrittlement-in-Leadfree-Solder.pdf>
21. Brewer D. H. Solders for Thick Gold Plating Consideration of solder characteristics, joint shear strength, and soldering conditions determines the choice of a solder-flux system. American Welding Society. WJ. 1970. 10. P. 465.
22. Wolverton M. Solder Joint Embrittlement Mechanisms, Solutions and Standards. [www.circuitsinsight.com](http://www.circuitsinsight.com)
23. Song J. Corrosion Protection of Electrically Conductive Surfaces — MDPI. [www.mdpi.com](http://www.mdpi.com)
24. Schueller R., Hillman C. Understanding the Risk of Gold Flash. White papers. [https://cdn2.hubspot.net/hubfs/1871852/Content\\_for\\_Degreed.com/Previous\\_Content/Understanding-the-Risk-of-Gold-Flash.pdf](https://cdn2.hubspot.net/hubfs/1871852/Content_for_Degreed.com/Previous_Content/Understanding-the-Risk-of-Gold-Flash.pdf)
25. AuroDur Plating for RF Coaxial Connectors. 99. [www.rosenberger.de](http://www.rosenberger.de)
26. Plating — HUBER+SUHNER. [www.hubersuhner.com](http://www.hubersuhner.com)
27. Plating properties — Radiall. [www.radiall.com](http://www.radiall.com)
28. What is Passive Intermodulation PIM. Primer Electronics Notes. [www.electronicnotes.com](http://www.electronicnotes.com)
29. Guide GBR D1031DE. [www.radiall.com](http://www.radiall.com)
30. Matthey. Palladium-Nickel as a Gold Substitute. <https://technology.matthey.com/content/journals/10.1595/003214084X2825455>
31. Romm D., Lange B. and D Abbott. Evaluation of Nickel/Palladium/Gold-Finished Surface — Mount Integrated Circuits. Application Report SZZA026. July 2001. [www.ti.com](http://www.ti.com)
32. Brearley D. Gold alternatives in connector designs. Connector Tips. December, 2013.
33. Low cost PVD contact coating replacing plated gold. Impact Coatings AB. <https://impactcoatings.com>

### ОСОБЛИВОСТІ ТА МІРКУВАННЯ ПРО ІНДИВІДУАЛЬНЕ ВИРОБНИЦТВО

Радіочастотні (РЧ) з'єднувачі є одними із декількох компонентів, які можна виготовляти на замовлення. Це відбувається тоді, коли стандартний виріб замовника влаштовує не повністю та вимагає додаткового опрацювання, адаптації, а інколи, навіть, створення повністю нового підходу для певної сфери застосування. Необхідність використовувати кастомізовані рішення диктується або специфічними умовами застосування, або необхідністю отримати прогнозований результат у вигляді готового продукту із потрібними характеристиками. РЧ-з'єднувачі або кабельні збірки на їх основі в подібних випадках розглядаються відповідно до конкретних умов застосування та очікуваної на виході продуктивності проекту з розрахунком на покращення якості сигналу, збільшення ефективності та зростання надійності системи загалом. Це особливо важливо для критичних сфер застосування, де немає місця технічним збоєм.

На замовлення для індивідуального проекту можна виготовити майже будь-який радіочастотний прилад з потрібними електричними специфікаціями, які необхідні саме для такого проекту. З погляду виробництва індивідуальні рішення також додають певного сенсу. Наприклад, це стосується питань оптимізації витрат всіх виробничих ресурсів, як матеріальних, так і нематеріальних, шляхом використання їх необхідної кількості. Таким чином, загальний вплив кастомізації відбивається всюди: на технічних особливостях виробу, покращенні його функціоналу, фінансових складових виробництва, заощадженні будь-яких ресурсів, швидкості виходу продукту на ринок.

Індивідуальні конструктивні рішення потребують «індивідуальних» рішень при виробництві. Не всі виробники якісно справляються з такими задачами. Багато залежить від досвіду розробників, технічних потужностей та рівня якості культури виробництва, й, звичайно ж, вартості виконання самої роботи. Американська компанія **Konnect RF** є одним із таких, надійних та перевірених часом виробників РЧ-з'єднувачів.

<https://konnectrf.com/>