

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.

Покриття, що забезпечують низький рівень інтермодуляційних спотворень

Розвиток базових станцій мобільного зв'язку, а також широкосмугового зв'язку нового покоління висунув жорсткі вимоги до рівня інтермодуляційних складових спектра сигналу (*Inter Modulation Products, IMP*) для всіх компонентів, які застосовують, зокрема й для радіочастотних з'єднувачів. Однією з головних причин виникнення IMP у з'єднувачах є наявність у них магнітних матеріалів і покриттів. Тому для виготовлення з'єднувачів застосовують тільки немагнітні метали: латунь, берилієву і фосфорну бронзи. Неприпустимим є також застосування аустенітної нержавіючої сталі, хоча вона вважається немагнітним металом. Виявилось, що під час деформації сталь набуває слабких магнітних властивостей внаслідок виділення магнітної α -фази [2]. Застосування магнітних матеріалів і покриттів також неприпустимо в з'єднувачах для магнітно-резонансної томографії [2].

Інтермодуляційні спотворення можуть бути викликані з'єднувачами, виготовленими з немагнітних металів, але покритими гальванічним магнітним нікелем [28]. Замість нікелевих покриттів використовують немагнітні срібні покриття. Срібло має найвищі з усіх металів електропровідність і теплопровідність, низький контактний опір і хорошу паяність. Однак срібло — дорогий дорогоцінний метал, до того ж схильний тьмяніти внаслідок взаємодії з сірковод-

нем, хлором, сірчистими та азотистими сполуками з навколишнього середовища. Срібло взаємодіє з сірководнем навіть за його концентрації в атмосфері менше ніж $1 \times 10^{-5} \%$ з утворенням щільних плівок сульфідів. У нормальних умовах за температури $+26 \text{ }^\circ\text{C}$ питома електропровідність плівки сульфиду срібла становить лише 0.1 См/м . Однак за температури $+175 \text{ }^\circ\text{C}$ відбувається стрибкоподібне зростання електропровідності до 2130 См/м , а за знижених температур плівки сульфиду срібла стають ізолювальними.

Пошуки альтернативних рішень привели до створення покриття «біла бронза» — немагнітного, корозійностійкого і зносостійкого сплаву $50\text{--}55\%$ міді, $30\text{--}35\%$ олова і $15\text{--}17\%$ цинку. Його застосування в радіочастотних з'єднувачах для заміни нікелевих покриттів стало популярним на початку 1990-х років. Покриття типу «біла бронза» зі складовими, що незначно відрізняються, розробили багато компаній, які присвоювали їм свої фірмові назви (табл. 1).

BBR — це покриття, що складається з 55% міді, 30% олова і 15% цинку, та яке має вигляд яскраво-білого срібла. Воно було розроблено компанією Radiall для заміни нікелю і срібла. Це покриття немагнітне, має високу електропровідність і, на відміну від нікелю, не викликає алергії. Інтермодуляційні спотворення, зумовлені BBR, такі ж низькі, як і у срібного покриття. Стійкість до корозії та тьмяніння є однією з найважливіших екологічних характеристик цього покриття поряд із високою зносостійкістю. Паяння з'єднувачів з покриттям BBR рекомендується прово-

дити з використанням злегка активованого флюсу [27]. Покриття Miralloy 2844 — сплав 51% міді, 33% олова і 17% цинку. Miralloy — товарний знак компанії Umicore.

Покриття Miralloy також є альтернативою гальванічним покриттям із нікелю та срібла для застосування в радіочастотних з'єднувачах у системах стільникового та мобільного зв'язку. Воно немагнітне, має високу твердість, зносостійкість і корозійну стійкість у сірководній атмосфері [2].

Покриття Sucoplate — «біла бронза» компанії Huber+Suhner [26]. Покриття має високі електропровідність і корозійну стійкість, твердість $600\text{--}700 \text{ HV}$, низький коефіцієнт тертя, хороші зносостійкість і пластичність, що дає змогу значно знизити можливість його пошкодження під час тертя і вигину. Немагнітність покриття забезпечує низькі втрати з'єднувачів на високих частотах.

Sucoplate — рівномірне і безпористе корозійностійке покриття товщиною $2\text{--}3 \text{ мкм}$, розроблене компанією SEC Plating Pty Ltd [6]. Коефіцієнти лінійного розширення цього покриття і латуні близькі, тому швидка зміна температури від -50 до $+200 \text{ }^\circ\text{C}$ не спричиняє розтріскування і відшаровування покриття. Твердість Sucoplate у 2 рази, а зносостійкість більш ніж у 10 разів більша, ніж у срібного покриття.

Tri-M3 (Tri-Alloy, Tri-Metal) — покриття компанії Electro-Spec, Inc. [10], що містить 55% міді, 30% олова і 15% цинку. Твердість Tri-M3 становить близько 600 HV , коефіцієнт тертя на 70% менший, ніж у срібла. Корозійна стійкість цього покриття і нікелю практично однакові.

У покриттях Sucoplate 30 компанії Huber+Suhner і Optargen (Rosenberger, Telegartner) шар срібла завтовшки 2 мкм вкритий «білою бронзою» завтовшки 0.5 мкм для запобігання утворенню сульфиду срібла. Покриття має твердість $600\text{--}700 \text{ HV}$ і поєднує корисні властивості срібла та «білої бронзи». Компанія Huber+Suhner не рекомендує покриття Sucoplate 30 для паяння.

* Закінчення. Початок див. CHIP NEWS, № 3, 2024 р.

Недоліком покриття «біла бронза» вважається погана паяність при використанні неактивованих флюсів. Тому для покращення паяності деякі компанії покривають «білу бронзу» дуже тонким шаром «твердого» золота. Компанія Radiall застосовує покриття GBR (*Gold Bronze Radiall*), що складається з шарів BBR завтовшки 1.8 мкм і золота завтовшки 0.1...0.2 мкм. Покриття GBR зовні виглядає, як золоте покриття, забезпечує досить високу міцність паяних з'єднань і низький контактний опір [29].

ЗОЛОТІ ПОКРИТТЯ МАЛОЇ ТОВЩИНИ

Золоті покриття малої товщини, що мають оптимальне поєднання ціна/якість, застосовують європейські компанії, що випускають радіочастотні з'єднувачі: Rosenberger [25], Hubert+Suhner [26], Radiall [278], Harting [1], Telegartner [3] та ін. У всіх цих покриттях як підшар застосовано хімічний нікель. Дуже тонкий шар «твердого» золота захищає хімічний нікель від окислення і забезпечує низький контактний опір і хорошу паяність. До того ж, на відміну від нікелевих покриттів, ці покриття не є алергенними і відповідають вимогам директиви RoHS.

Покриття AuroDur, що складається з тонкого шару «твердого» золота (всього 0.15 мкм) з прошарком немагнітного хімічно обложеного нікелю завтовшки 2...3 мкм, компанія Rosenberger вже багато років застосовує в радіочастотних з'єднувачах. За даними компанії, це рівномірне покриття забезпечує чудові характеристики корозійної стійкості, зносостійкості, передавання сигналів і паяння з високою міцністю за мінімальної вартості. Наприклад, застосування покриття AuroDur у з'єднувачах типу SMP дало змогу забезпечити 1000 циклів з'єднань вилки та розетки замість необхідних за технічними умовами 500 циклів.

Компанія Hubert+Suhner замінила в з'єднувачах, що випускаються, стандартне золоте покриття завтовшки 0.8 мкм з прошарком гальванічного нікелю завтовшки 1...2 мкм на покриття Suserpro: 0.1...0.2 мкм «твердого» золота чистотою 99.7% з прошарком хімічно обложеного нікелю (вміст фосфору 10.5%) завтовшки 2 мкм. Покриття Suserpro виявилось більш зносостійким, а його змочуваність припоями була кращою, ніж у стандартного покриття [26].

Таблиця 4. Аргументи «за» і «проти» зменшення товщини золотого покриття з'єднувачів

«За» зменшення товщини	«Проти» зменшення товщини
Необхідність економії дорогого дорогоцінного металу	Необхідність забезпечення високої корозійної стійкості з'єднувачів
Можливість підвищення надійності паяних з'єднань	Необхідність забезпечення підвищеної зносостійкості з'єднувачів
Підвищена чистота поверхні за сучасної технології виготовлення з'єднувачів	Підвищення складності та вартості механічного оброблення поверхні з'єднувачів дуже високої чистоти
Зменшення товщини «скін-шару» при збільшенні робочої частоти з'єднувачів	

Золоте покриття корпусів з'єднувачів із латуні компаній Telegartner і Harting — NiP-Au складається з трьох шарів: міді завтовшки 1 мкм, хімічного нікелю з фосфором завтовшки 4 мкм і «твердого» золота завтовшки всього 0.1 мкм [1, 3]. Хімічний нікель створює тверде, зносостійке і стійке до корозії покриття. «Тверде» золото, міцно пов'язане з прошарком хімічного нікелю, забезпечує невеликий коефіцієнт тертя і більшу зносостійкість, ніж стандартні золоті покриття. У той час як стандартні золоті покриття наносять гальванічними методами, у виробництві сплавів NiP-Au компанія Telegartner застосовує хімічні процеси за температури +85 °C. Хімічні процеси дорожчі за гальванічні, але це повністю компенсується використанням меншої кількості золота [3].

Покриття компанії Radiall — NPGR, що складається з тонкого шару «твердого» золота поверх шару хімічного нікелю (вміст фосфору більше ніж 10%), було розроблено як альтернативу дорожчому стандартному золотому покриттю. Це немагнітне покриття забезпечує низький рівень інтермодуляційних складових, захист від корозії та низький коефіцієнт тертя, що дає змогу виконувати до 10000 з'єднань і роз'єднань вилки та розетки. Однак покриття NPGR не рекомендується застосовувати, якщо паяні з'єднання мають працювати в жорстких умовах за високих температур [27].

Основне застосування покриттів із золотом малої товщини — з'єднувачі та інші компоненти для поверхневого монтажу, проте останнім часом їх дедалі ширше застосовують і для з'єднувачів багатьох інших типів.

ОПТИМАЛЬНА ТОВЩИНА ЗОЛОТОГО ПОКРИТТЯ

Визначення оптимальної товщини золотого покриття радіочастотних з'єднувачів є непростим завданням, особливо для з'єднувачів, що надійно працюють у жорстких умовах. Золото — дорогий

матеріал, а це означає, що золоте покриття має бути рівно настільки товстим, наскільки це необхідно, інакше це втрачені гроші. Електронна промисловість щорічно споживає понад 320 т золота, і значна частина цього золота використовується як електроліт для гальванічного покриття з'єднувачів та інших електронних компонентів [10]. Було розроблено технічні специфікації MIL-DTL-45204D і ASTM B488, що розподіляють товщину золота за класами від 00 до 6. Клас 00 — для мінімальної товщини золота — 0.5 мкм, клас 0 — 0.75 мкм, клас 1 — 1.25 мкм тощо [18].

Спроби скоротити споживання золота шляхом зменшення товщини покриття, застосування селективного золочення і заміни золотого покриття на покриття іншого складу робляться постійно. Однак комбінація таких властивостей золота, як винятково висока корозійна стійкість, висока електропровідність, немагнітність і пластичність, настільки неповторна, що заміна золота може призвести лише до втрат або надмірно великих витрат. Тому велика кількість робіт була спрямована лише на зменшення товщини золотих покриттів. Рішення про зменшення товщини золотого покриття є компромісним. У таблиці 4 наведено аргументи «за» і «проти» зменшення товщини золотого покриття радіочастотних з'єднувачів.

За великої товщини золотого покриття зростає ймовірність окрихчування з'єднань, спаяних олов'яно-свинцевими припоями, внаслідок утворення інтерметалідів. Оптимальна товщина золотого покриття, за різними даними, має бути меншою за 0.5 мкм, але, в усякому разі, меншою за 1.25 мкм. Однак чим тонше золоте покриття, тим більше воно містить пор і тим нижча його корозійна стійкість. Для забезпечення високої корозійної стійкості товщина золотого покриття повинна бути не менше 1.25 мкм. У міру збільшення товщини золота збільшується не тільки корозійна стійкість, а й зносостійкість покриття. Для підвищення зносостійкості товщина покриття «твердим» золотом має бути не менше 1...2 мкм.

Таблиця 5. Середньоарифметичне відхилення профілю поверхні та глибина скін-шару золота, нікелю гальванічного та хімічного

Клас чистоти	Середньоарифметичне відхилення профілю, мкм	Частота, ГГц	Глибина скін-шару, мкм		
			Золото	Ni	NiP
$\sqrt{5}$	5.0	1	2.38	0.167	4.09
$\sqrt{6}$	2.5	10	0.75	0.054	1.32
$\sqrt{7}$	1.25	18	0.56	0.040	1.02
$\sqrt{8}$	0.63	40	0.38	0.027	0.68
$\sqrt{9}$	0.32	65	0.30	0.021	0.51

Товщина золотого покриття має бути такою, щоб покрити всі нерівності металевих поверхонь і бути більшою за товщину скін-шару. За постійного струму однорідність покриття однакова по всьому поперечному перерізу провідника. На високих частотах густина струму в значній центральній частині перерізу провідника практично дорівнює нулю, струм проходить тільки в поверхневому шарі — скін-шарі. Глибина скін-шару тим менша, чим вища частота, більша магнітна проникність і провідність металу.

Середньоарифметичне відхилення профілю поверхні для різних класів чистоти обробки і глибина скін-шару золота, гальванічного (Ni) і хімічного (NiP) нікелю залежно від частоти наведено в таблиці 5. Дані таблиці 5 показують, що товщина золотого покриття визначається величиною шорсткості поверхонь коаксіальної лінії з'єднувача, оскільки вона завжди більша за глибину скін-шару. Для застосування золотого покриття товщиною менше ніж 1 мкм необхідно, щоб поверхні коаксіальної лінії з'єднувача були оброблені не гірше, ніж за 8–9-м класом чистоти. При цьому треба враховувати, що підшар нікелю децю вирівнює нерівності поверхні.

Для підвищення зносостійкості доводиться збільшувати товщину золотого покриття і застосовувати підшар твердого хімічного нікелю. За даними компанії Тусо, покриття з «твердого» золота завтовшки 0.8 мкм з прошарком нікелю завтовшки не менше 1.3 мкм забезпечує зносостійкість, достатню для більшості з'єднувачів. Покриття товщиною від 0.03 до 0.1 мкм із «твердого» або «м'якого» золота поверх нікелевого прошарку слід використовувати тільки в тих випадках, коли ризик стирання мінімальний [24].

Товщина золотого покриття для з'єднувачів, що працюють у помірних умовах навколишнього середовища, може бути обрана в межах 0.75...1.25 мкм. Така товщина золота забезпечує поліпшену корозійну стійкість і зносостійкість порівняно з тоншим золотим покриттям.

Для з'єднувачів, що застосовуються в контрольованому середовищі, з мінімальними вимогами до зносостійкості достатня товщина золотого покриття 0.1...0.5 мкм. Тонкий шар золота в цьому випадку забезпечує низький контактний опір і досить хорошу паяність.

ПОКРИТТЯ ПАЛАДІЙ-НІКЕЛЬ З ТОНКИМ ШАРОМ ЗОЛОТА

Упошуках альтернативи золоту в покриттях радіочастотних з'єднувачів було звернуто увагу на паладій. Паладієве покриття має досить хороші контактні властивості, високу твердість — 200–300 HV, яка набагато вища за твердість чистого золотого покриття. Зносостійкість паладієвих покриттів у 20 разів вища за зносостійкість срібних покриттів. Зазвичай застосовують покриття без пор товщиною 2...5 мкм. Однак паладієве покриття має схильність до розтріскування і високу каталітичну активність, що сприяє утворенню на його поверхні ізоляційних плівок унаслідок полімеризації парів органічних речовин, що містяться в навколишньому середовищі [7].

На початку 1980-х років багато компаній розглядали перспективи заміни покриття з «твердого» золота, ціни на яке нестримно зростали, на покриття більш низької вартості, яке, однак, має при цьому основні характеристики золотого покриття. Їхні зусилля завершилися розробкою паладій-нікелевого (PdNi) гальванічного покриття з прошарком нікелю. Покриття PdNi складається з 70–80% паладію і 20–30% нікелю і є твердим розчином паладію і нікелю. Густина покриття становить від 10 до 11.5 г/см³. Для порівняння густина гальванічного золота — 17...19.3 г/см³. Покриття PdNi менш схильне до розтріскування, має знижену пористість і кращу пайку порівняно з чистим паладієм [30–32].

Для подальшого покращення якості покриття паладій-нікель поверх нього нанесли шар золота завтовшки менше ніж 0.25 мкм [31–32]. Тришарове по-

криття нікель-паладій-золото (NiPdAu) було розроблено в 1980-х роках. Ключовою властивістю цього покриття є покращена паяність безсвинцевими припоями та припоями, що містять свинець. Проведені компанією DuPont випробування показали, що це покриття твердіше, стійкіше до корозії та довговічніше, ніж золоте покриття [30].

Кваліфікаційні випробування, виконані основними постачальниками з'єднувачів, показали, що покриття PdNi з тонким золотим шаром має нижчу вартість і є надійною альтернативою 0.75-мікронному золотому покриттю [30]. Покриття PdNi з тонким шаром золота протягом останніх 30 років стало кращим для компаній FCI, Molex і TE Electronics, що випускають радіочастотні з'єднувачі у великих обсягах, насамперед — з'єднувачі для роботи в польових умовах. Компанія Molex повідомила, що модульні гнізда, вкриті PdNi з тонким шаром золота, витримують 2500 циклів з'єднань, тоді як такі самі гнізда із золотим покриттям — тільки 750 циклів [32].

НОВІ ПОКРИТТЯ

Провідні компанії постійно вдосконалюють покриття радіочастотних з'єднувачів. Наприклад, японською компанією Uemura та німецькою Umicore представлено склад більш економічного покриття (рис. 5) [8]. Товщину золота вдалося зменшити в 10 разів, покриття паладій-нікель замінити хімічним нікелем і в 1.5 раза зменшити товщину гальванічного нікелевого покриття. Це дало змогу суттєво знизити частку дорогіших металів — золота і паладію.

Мабуть, у цій галузі може знайти застосування нанокристалічний нікель, покритий тонким шаром золота. Це покриття було винайдено в Массачусетському технологічному інституті (США). Контакти з таким покриттям пройшли тестування на вплив навколишнього середовища [32].

Шведська компанія Impact Coatings AB заявила про створення покриття Silver MaxPhase™, що замінює золоте покриття в з'єднувачах для мобільних телефонів [33]. Шведське покриття корозійностійке, зносостійке, а технологія його отримання осадженням з парової фази (PVD) [7] екологічно чиста. Покриття має твердість 300 HV, низький коефіцієнт тертя, досить низький контактний опір і забезпечує надійні з'єднання паянням і зварюванням.

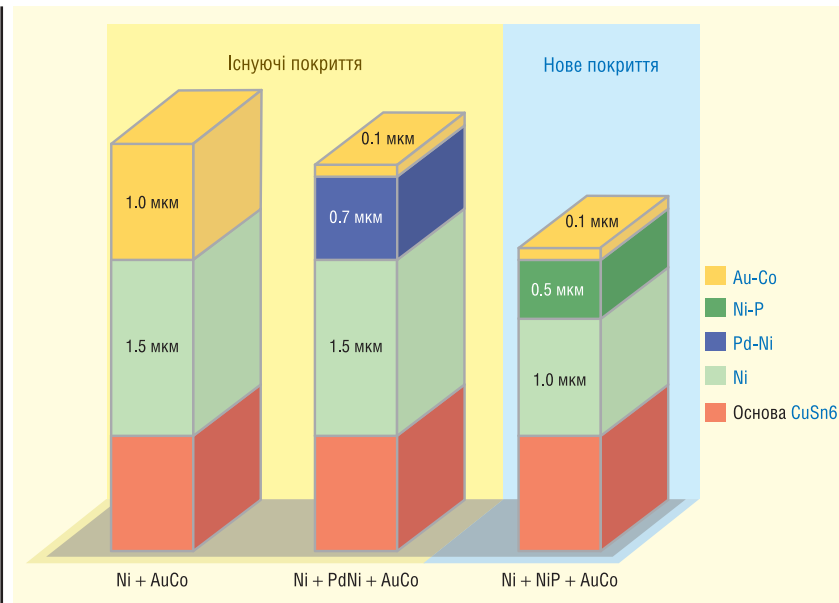


Рис. 5. Еволюція покриттів із дорогоцінних металів

ПАСИВАЦІЯ НЕРЖАВІЮЧОЇ СТАЛІ

Розгляд фінішних покриттів був би неповним, якби хоча б коротко не згадати про пасивацію поверхні корпусів з нержавіючої сталі великої групи з'єднувачів: вимірювальних, метрологічних

і складових сантиметрового та міліметрового діапазонів довжин хвиль [2]. Під час механічної обробки корпусів на поверхню цих з'єднувачів переноситься вільне залізо з інструментів, що застосовуються. Вільне залізо легко окислюється, знижуючи корозійну стійкість з'єднувачів.

Тому після механічної обробки корпусів виконують операцію пасивації. Пасивація — це хімічне оброблення з використанням спеціальної кислотної композиції, яка видаляє вільне залізо та інші забруднення з поверхні нержавіючої сталі. При цьому одночасно на поверхні утворюється пасивний шар оксиду хрому/нікелю, який діє як бар'єр для подальшої корозії. Після пасивації нержавіюча сталь стає ще більш стійкою до корозії.

ВИСНОВОК

Розглянути в цій статті покриття можна застосовувати не тільки для радіочастотних з'єднувачів, а й для інших електронних компонентів, насамперед для поверхневого монтажу. Покриттям радіочастотних з'єднувачів та інших електронних компонентів присвячено величезну кількість робіт. У цій статті розглянуто лише невелику частину з них.

Основним напрямком розвитку покриттів радіочастотних з'єднувачів є економія дорогоцінних металів. Для цього розроблено золоті та паладій-нікелеві покриття дуже малої товщини з прошарком хімічного нікелю. Другий



Напівгнучкі



Тип RG



Напівжорсткі



Коаксіальні кабелі:
 - низькі та ультранизькі втрати
 - оптимальне т фазування
 - ефективне екранування
 - висока надійність
 - оптимальна ціна

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

напрямок — створення нових альтернативних покриттів — також має певні перспективи. Однак у більшості випадків потрібне нанесення тонкого шару золота поверх нового покриття.

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
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
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
6. SEC Plating Pty. High quality surface plating for rf-connectors, electrical and microwave components. 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
9. Hard Gold plating — Alternate Finishing. 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
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
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
19. Soldering to Gold Over Nickel Surfaces — Kester. 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.circuitinsight.com
23. Song J. Corrosion Protection of Electrically Conductive Surfaces — MDPI. 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
25. AuroDur Plating for RF Coaxial Connectors. 99. www.rosenberger.de
26. Plating — HUBER+SUHNER. www.hubersuhner.com
27. Plating properties — Radiall. www.radiall.com
28. What is Passive Intermodulation PIM. Primer Electronics Notes. www.electronicnotes.com
29. Guide GBR D1031DE. 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
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>

ОСНОВНЕ ПРО КАБЕЛЬНІ ЗБІРКИ

Радіочастотні (РЧ) кабелі застосовуються в різних сферах електроніки, для передачі високочастотного сигналу. Кабелі призначені для передачі радіохвиль, які є різновидом електромагнітного випромінювання з частотами від 3 кГц до 300 ГГц.

Існують різні типи РЧ кабелів, які поділяються за сферою застосування, відповідно до технічних вимог, діапазонів робочої частоти. Коаксіальний кабель є найпоширенішим типом радіочастотного кабелю. Коаксіальний кабель складається з центрального провідника, оточеного ізоляційним шаром, і зовнішнього провідника (в більшості випадків плетеного типу). Зовнішній провідник служить екраном, захищаючи внутрішній провідник від зовнішніх електромагнітних завад (EMI).

Радіочастотні кабельні збірки також застосовують у військових та в аерокосмічних програмах, де вони піддаються впливу екстремальних умов використання, температури, вібрації та інших деструктивних зовнішніх факторів. Для цих застосувань існують спеціальні типи радіочастотних кабелів, наприклад кабелі з повітряно наповненим діелектриком, для зменшення ваги та збільшення гнучкості.

Здатність передавати високочастотний сигнал на великі відстані з мінімальними втратами — чи не найголовніша перевага РЧ кабелів. Розробники електронних систем в першу чергу звертають увагу на величину втрати сигналу при передаванні в кабелях і на його стійкість до електромагнітних завад. А також звертають увагу, та підбирають кабелі за внутрішньою структурою та за матеріалами з яких він виготовлений.

Якщо узагальнити, коаксіальні кабельні збірки — важлива частина багатьох електронних систем, з абсолютно різних сфер застосування, від комерційних до військових проектів. РЧ кабелі відіграють, без заперечення важливу роль для передачі сигналу з найменшими втратами, суттєво впливаючи на надійність цілої системи. Компанія **Konnect RF** (CSIA) виготовляє якісні кабельні збірки з різноманітних типів коаксіальних кабелів, відповідно для застосування у телекомунікації, радіомовленні, радарях і системах супутникового зв'язку.

<https://konnectrf.com/>