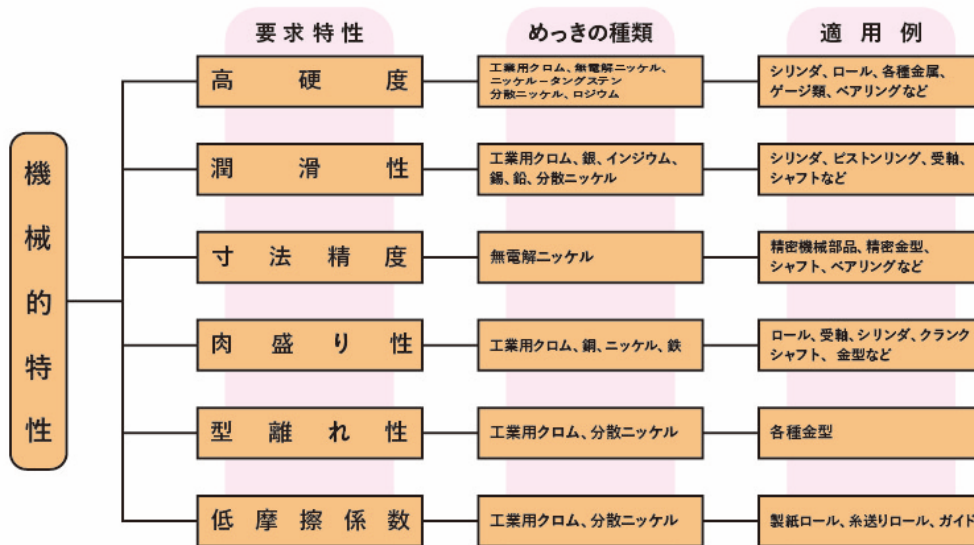


# 工業用めっきの各種特性について

## 機械的特性

工業用めっき

### 機械的特性



#### 【硬度】

めっき皮膜の硬度は、一般的に JIS で規定された試験法で測定し、ビッカース硬度 (Hv) やヌープ硬度 (Hk) で表示する。もっとも硬い天然鉱物はダイヤモンドである。

ルビーは約 Hv1300、硬質クロムめっきは 800~1000 の範囲のものが用いられている。

無電解ニッケルめっきは 400°C で熱処理すると、Hv 1000 という高硬度が得られる。

また、ニッケル皮膜中にアルミナや炭化ケイ素の微粒子を分散させた複合皮膜も Hv600 程度の硬さを示す。同様に 400°C で熱処理することによって、SiC の含有率 (2~6 wt%) によって Hv1300~1400 という高硬度を示す。

また、ニッケル-タングステン合金めっきも極めて高硬度のめっきとして注目を集めている。ロジウムめっきは硬度 (約 Hv800~1000)、耐摩耗性などに優れ、コネクタやロータリースイッチなどの摺動接点用めっきとして高く評価されている。逆に硬度が低い、つまり柔らかいめっき皮膜の代表格はインジウムや鉛、錫-鉛合金などである。

### 【潤滑性】

潤滑性には、低摩擦係数によるもの、保油性によるもの、なじみ性によるものがあり、それぞれの使用目的に応じて適切な潤滑性の得られるめっき皮膜を選定した方がよい。

例えば軸受けでも、三層軸受けのように潤滑性改善の目的でなじみ性を付与する必要があるれば、鉛-錫 (7~10%)、鉛-インジウム、鉛-錫-アンチモン、銀軸受けでは銀の厚付けめっき上に鉛-インジウム拡散めっきをするなどの柔らかい合金めっきが使われるし、耐摩耗性が同時に必要であれば、潤滑物質を含浸させて硬質クロムめっきや分散ニッケルめっきが活用される。

シリンダーライナーのように潤滑油を使用する環境下では、ポーラスな硬質クロムめっきが保油性の面でも好ましい。

潤滑性と耐摩耗性を目的とした分散ニッケルめっきでの分散微粒子には、フッ化黒亜鉛、二硫化モリブデンなどが用いられている。

### 【寸法精度】

複雑な形状の部品に均一な厚さの皮膜を付与することは、一般的な電気めっき法では難しい。比較的容易に均一な厚さを得られるめっき法は、無電解ニッケルめっき (Ni-p 合金、Ni-B 合金) である。これらの合金めっき皮膜は耐熱性や耐食性のも優れており、精度を要求される精密機械部品、自動車部品、電子部品などの多く活用されている。

勿論、電気めっきでも治具や補助陽極を工夫して電気分布を均一化することにより、膜厚の均一な皮膜を得ることが出来る。

### 【肉盛り性】

寸法補正や修理を目的とし、さらに耐摩耗性、耐食性、硬度、切削加工性などを同時に要求される場合が多い。印刷用ロールやシリンダ、クランクシャフト、軸受、金型などの修理や寸法調整には、硬質クロムめっきが活用され、0.5mm の厚付け、あるいは 0.75~1mm といった超厚付けめっきも行われている。

金型や摩耗した工具箱などは、修理などによって再生させる方が経済的であり、寿命もはるかに延長が可能である。

例えばプラスチック用モールド金型では、硬質クロムめっきによって 5~15 倍の寿命延長が可能である。

印刷用銅ロール、コンダクタロールの製作には、銅電鍍、いわゆる銅の超厚付けめっきが行われている。

### 【型離れ性】

金型に要求される特性で、一般的には硬度が同時に必要になるため、硬質クロムめっきが活用されている。

ウレタンゴムのような型離れ性の悪い素材の金型では、硬質クロムめっきを 15 $\mu$ m 厚程度施し、さらに離型剤を使用するのが普通であるが、クロムめっきの代わりにフッ化黒亜鉛微粒子を分散させた無電解ニッケルめっきを行うと離型剤なしでも容易に離型でき、金型寿命も大幅に延長することが可能である。

#### 【低摩擦係数】

滑り性とも称されている。耐摩耗性や潤滑性と深い関係があり、製紙ロール、繊維機械の糸送りローラーやガイドなどに要求される特性がある。

一般的には、硬質クロムめっきが用いられるが、より摩擦係数の小さなめっき皮膜として、マイクロクラックの中にテフロンを含浸させた硬質クロムめっきや二硫化モリブデンを共析させた分散ニッケル-リン合金めっきが活用されている。

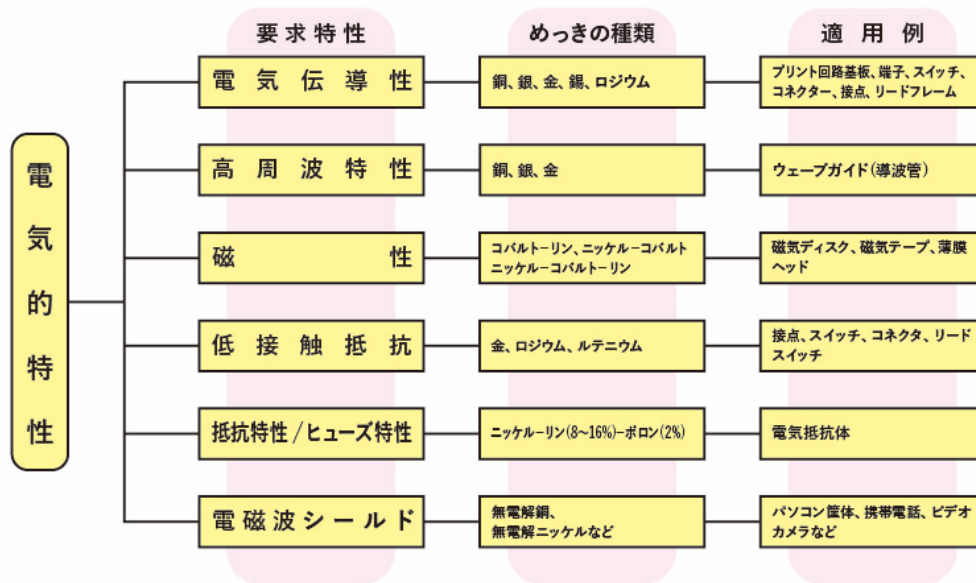
#### 【その他】

その他の機械的特性として、二次加工性や耐衝撃性、耐疲労性がある。とくに二次加工性は、めっき後にプレス成形や熱加工が行われる部品に要求される特性で、皮膜の柔軟性や密着性、耐熱性などと密接な関わりがあり、これらの性能は、めっき条件によってかなりの差が生じることも多い。そのため発注の時点で二次加工の有無を明示することが大切である。耐衝撃性や耐疲労性は、一般的にめっきをすることで弱くなるといわれているが、理論的には強くすることも可能であり、今後の研究課題ともいえよう。

## 電気特性

機能めっき

### 電気的特性



#### 【電気伝導性】

電気伝導性が大きいほど電導性に優れている。表現を変えれば、電気抵抗値が小さいほど電導性に優れているということでもある。

電導性をもっとも優れている金属は銀（比抵抗  $0.016 \times 10^{-4} \Omega\text{-cm}$ ）である。ついで銅（銀の93%）、金、（銀の70%）、錫などとなる。従って電導性を目的とする部品では、これらの金属のめっきが多く活用されている。とくにエレクトロニクスの陰の立役者であるPCB（プリント回路基板）では、回路パターン作成や両面の回路導通のために銅スルホールめっきが不可欠な役割を果たしている。

接点やコネクタ、スイッチ、リードフレームなどの電子・半導体部品では、金や銀、錫、ニッケルなどのめっきが多用されている。金や銀の場合、純度99%以上のめっきのため、皮膜が柔らか過ぎ、金にはニッケルや亜鉛などを数%含有させた合金めっきが、また銀には有機物を添加した浴からめっきがそれぞれ利用されている。硬度は、いずれもHv100以上で硬質金めっき、硬質銀めっきと呼ばれている。

また近年、高価な金の代わりにニッケルボロンめっきやリフロー錫めっきが利用される例も増えている。摺動接点などでは耐摩耗性向上のために、金めっき上にごく薄いロジウムめっきが施される場合もある。

### 【高周波特性】

導波性とも称される。高周波電流（ミリ波、マイクロ波）の伝わり易さのことで、伝送損失の少ない特性が要求される。すなわち、ミリ波、マイクロ波帯域での信号交流電流を流すために用いられる導波管（ウェーブガイド）に必要な特性のことで、電流の流れる導波管表面の凹凸が伝送損失に影響するため、表面の平滑化性が重要となる。

マイクロ波では、丹銅引抜管の導波管に平滑性が優れた銅めっきが施され、その上にごく薄い銀や金めっきが施される。ミリ波では、精密電鍍（銅の超厚付けめっき）により製作した導波管に平滑性の良好な銅めっきが施され、さらにごく薄い金めっきがされる。

### 【電磁波シールド特性】

パソコンや携帯電話に限らず、多くのデジタル機器が社会に氾濫し、家庭に浸透してきた。それに伴いデジタル機器では電磁波障害を防止することが必然となっている。

デジタル機器は、それ自体が内蔵する回路から電磁波ノイズを発生させる。また逆に、外部からの電磁波の影響を受け、誤動作が障害を引き起こす危険にもさらされている。

そのため、これらの電磁波ノイズを回路内や機器単体で吸収または遮断すべく、様々なシールド対策が実用化されている。

現在、もっとも確実な効果が実現出来ると評価されている手法が無電解銅めっきと無電解ニッケルめっきによる2層めっき皮膜で、電磁波障害をほぼ100%近く防止出来るため、ノートパソコンや携帯電話の筐体に広く利用されている。

### 【磁性】

磁気記録媒体に要求される重要な特性で、静特性（保磁力、角形比）と動特性（メモリー特性）を総称する。

静特性に優れているのが硬質磁性材料で、そのめっき皮膜は薄膜化、高記録密度化を実現できるといわれる。すでにニッケル-コバルト、ニッケル-コバルト-リン、コバルト-リンなどの合金めっきが開発、実用化されており、主に無電解めっき法により均一な膜厚（数百～数千Å）を作成することが出来る。

逆に保持力が小さく、透磁力の高いものが軟質磁性材料で、その膜厚（80Ni-20Feの合金めっき）は薄膜ヘッドに活用されている。

さらに、めっき薄膜の機械的強度や耐食性を向上させるために、コバルト系の合金めっきにタングステンやモリブデンを共析させる合金めっきも開発されている。

### 【抵接触抵抗】

電気接触部での電気抵抗の小さな特性のことで、硬度や耐摩耗性などが付加されてスイッチ特性と称されることもある。接点やコネクタ、スイッチなどは、電気抵抗や接触抵抗が小さいことに加えて、耐食性（耐酸化性、耐硫化）や、さらに高硬度、耐摩耗性、耐衝撃性な

どの機械的特性が強く要求されるわけである。

一般的には、金めっきの場合、コバルトやニッケルを 0.1~1.0%合金化して硬度や耐摩耗性を高めた硬質金 (Hv160~250) が用いられている。特殊な摺動接点では、Hv1000 のロジウムめっきも利用されている。リードスイッチでは高硬度でスイッチ特性に優れたルテニウムめっきの実用化されている。

#### 【抵抗特性/ヒューズ特性】

電気抵抗体には、巻線抵抗、炭素皮膜抵抗、酸化皮膜抵抗、蒸着金属膜抵抗などがあるが、それぞれに一長一短がある。

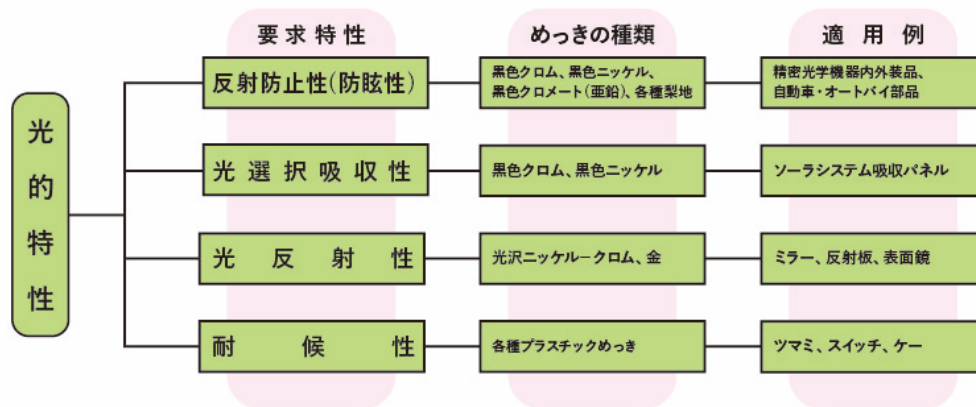
ところが、ある特殊な無電解ニッケルめっき (Ni2% B8~16%P) をセラミック基体上にめっきすることにより、抵抗特性に優れ、量産性も良好な金属薄膜抵抗体を得ることができる。抵抗値はめっき膜厚により、 $2\Omega$ 、 $1\Omega$ 、 $0.5\Omega$ といった具合に設定できる。

この抵抗素子は、大きな過負荷がかかると数十秒間で溶断し、無限大の抵抗値となる特性、すなわちヒューズ特性を有しており、ソリッドステート回路の保護回路部品として利用されている。

# 光的特性

機能めっき

## 光的特性



### 【反射防止性】

眩しさを防ぐ特性のことで、防眩性とも称される。この特性が要求される製品の代表格は、光学機器の内外装部品である。黒色クロムめっきや黒色クロメート、黒色塗装、黒色アルマイトなどの表面処理が広く利用されている。

また、シルバーメタリック外観で高級感を演出する場合、梨地調のニッケル-クロムめっきも多用される。

自動車やオートバイ部品においても、反射防止に加えて高級感を出すために黒色クロムめっきなどが利用されている。

### 【光選択吸収性】

6000℃という超高温の太陽光線の波長は、その99.9%が0.3~2.5μmの領域にある。その領域の太陽光線を効率よく吸収し、しかも2.5μm以上の波長領域の太陽光（赤外線）の反射が極力少ない特性のことを光選択吸収性と呼んでいる。

吸収率は $\alpha$ で示され、1.0に近いほど大きく、また放射率 $\varepsilon$ で示され数値が小さいほど放射が少ないことを表している。

ソーラシステムに不可欠の選択吸収パネルには、こうした特性を持つ黒色クロムめっき（ $\alpha=0.98$ 、 $\varepsilon=0.066$ ）が広く利用されている。他にも黒色アルマイトは銅の黒染（化成処理膜）、特殊な黒色塗装などが吸収パネルに活用されている。

### 【光反射性】

光を効率よく反射する特性のことである。

金または白色金属で、鏡面光沢に近いほど反射率は大きくなる。

現在、一般的に用いられる鏡は、平滑性の良好なガラス裏面に真空蒸着やスパッタリングでアルミニウムや銀を蒸着して作られている。

これに対して金属上の鏡面めっきも広く利用されており、アルミニウム上に光沢ニッケル-クロムめっきを施したアルミラー（建築内外装材）や鋼上板状の光沢ニッケル-クロムめっき（各種反射板）、光沢ニッケル-金めっき（各種反射鏡）などがある。

一方、プラスチックめっきでも光反射性を利用した部品は多く、その代表的なものが自動車部品のテールランプやリフレクターである。

また、装飾用途に供される光沢めっき製品の多くが、デザイン的に光の反射を高級感の演出に活用しているといっても過言ではない。

精密な光学機器においては、金属の超精密切削や研磨したものが表面鏡として実用に供されており、めっきとの組み合わせで良好な耐食性が付与された金属表面鏡は光学的にも多くの利点を持つものとして高く評価されている。

### 【耐候性】

紫外線劣化を引き起こしやすいプラスチックはゴム、塗膜などの紫外線から保護する特性のこと。ほとんどプラスチックやゴム、塗膜は紫外線によって劣化し、脆くなったり変色したり、クラックが入ったりして、商品価値が急激に低下する。

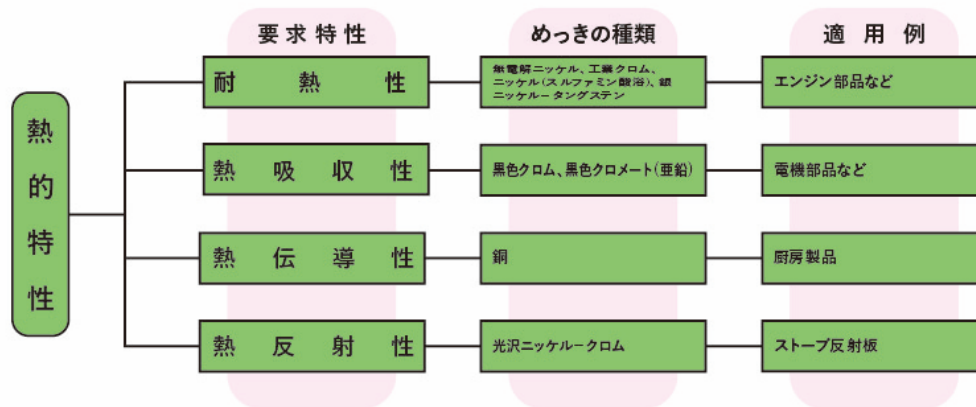
プラスチック上の各種めっきは、こうした紫外線劣化を防ぐもっとも有効な方法であり、高級感付与という役割とともに、広範囲な分野で活用されている。



## 熱的特性

機能めっき

### 熱的特性



#### 【耐熱性】

高温下でも皮膜特性が低下しない性質のこと。概して電気めっきや無電解めっきの耐熱性はセラミックのような優れたものではない。本質的に高温の酸化性雰囲気では電気めっきを利用することは難しいが温度条件や使用環境によっては、充分使用できる耐熱性皮膜をつくる事が出来る。

スルファミン酸浴からのニッケルめっきでは、500°Cでも硬度の低下がみられず、切削加工性も良好である。

無電解ニッケルめっきは、400°Cの熱処理で硬度が Hv800~1000 程度になるが、300°C以上で継続的に使用すると硬度は急激に低下する。

同じくニッケルボロンめっきでは析出状態で Hv800 の硬度を示し、耐熱性も無電解ニッケルめっきよりも遙かに優れている。また、特殊無電解ニッケルめっきとして 400~700°Cでも硬度低下のないものが一部実用化されている。

硬質クロムめっきは、400°C以下の高温酸化雰囲気中で使用可能であるが、硬度は Hv1000→600 と低下する。耐摩耗性や耐食性も次第に低下する。

銀めっきは、500°Cの高温に耐え、焼き付き防止を目的とした高温環境下でのボルト、ナットに利用されている。

また、特に高温下での耐摩耗性が要求されるガラス金型には、ニッケル-タングステン合金めっきが利用されている。航空機エンジン部品では、ニッケルめっき上にカドミウムめっきを施して 300°Cで熱処理したニッケル-カドミウム拡散めっきが利用されている。

### 【熱吸収・放熱性】

熱を効率よく吸収する特性のことで、光吸収性と同様、黒色皮膜が活用されている。使用時に内部が高温となるパソコンやマイクロファンが CPU や光源から発生する熱を吸収すると同時に効率よく発散させる機能を担っている。こうした放熱部品では黒色の表面処理が利用されている。

### 【熱伝導性】

熱を伝えやすい特性のことで、金属は全般的にこの性質を有している。もっとも熱伝導性に優れた金属は銀（電導率=0°Cの場合、 $428\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ ）で、ついで銅（403）、金（319）となる。

熱伝導性を目的とする場合、一般的には銅が広く利用されており、一例として熱伝導性の劣るステンレス製の鍋やフライパンなどに対して、その底部（加熱面）に銅の厚付けめっきが施されており、有効面の温度分布を均一化させている。

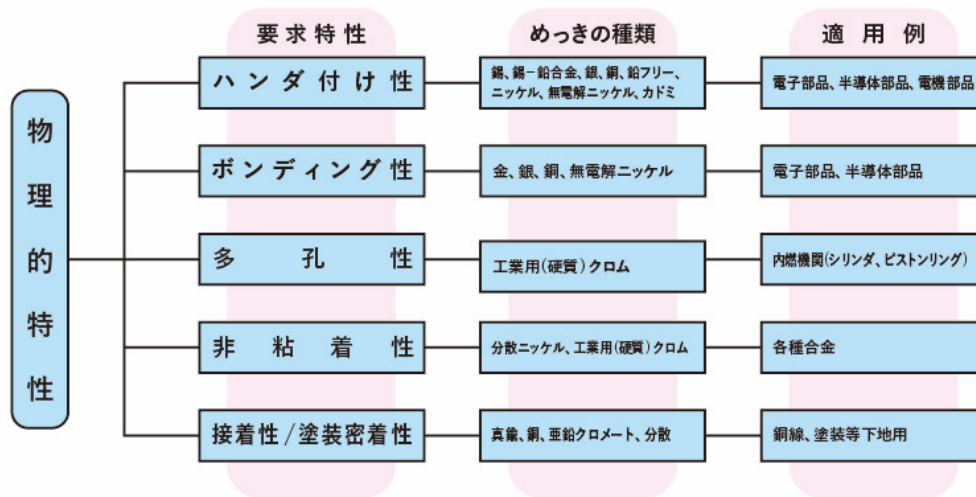
### 【熱反射性】

光反射性と同義で、 $2.5\mu\text{m}$ 以上の波長領域である赤外線を効率よく反射する性質をいう。鏡面光沢に近いほど、また白色金属ほど、熱反射性に優れている。その代表的な事例は、鋼板上に光沢ニッケル-クロムめっきが施されたストーブの反射板である。

## 物理的特性

機能めっき

### 物理的特性



#### 【ハンダ付け性】

接合しようとする金属表面に対するハンダの馴染みやすさのことで、ハンダ濡れ性をも称する。電子部品、半導体部品、電機部品、機械部品などでハンダ付けを必要とするものには欠かすことの出来ない特性である。

ハンダ濡れ性や接合強度は JIS 規格にテスト法が規定されている。

加熱に対するハンダの接合性（ソルダビリティ）も、特に半導体部品や電子部品では重要である。これは、錫と金属間化合物を作りやすく、しかも加熱に耐えるめっきということであるが下地めっきによって大きな差を生じる。例えば 50%Fe-Ni 素材上に直接銀めっきを施したものは、350°Cの加熱に1分しか耐えることが出来ないが、下地に銅めっきを1.5μm、金ストライクめっきを行ってから銀めっきをすると、7~8耐えるようになる。

ハンダ付け性の代表的なめっきは、錫-鉛合金であるが、EU における RoHS 指令の施行により、2006年7月以降は鉛の使用が禁止されているため、錫-鉛合金に代わる様々な合金めっき実用化されるようになった。しかし、それぞれに一長一短があり、今後どの合金めっきに切り替えるかは、発注先次第と言える。その中で、最近の潮流はコストの上昇を抑えることが出来るリフロー錫めっきを主役の座に押し上げているが、これも嵌合時におけるウイスキアの発生を完全に抑えることは不可能とされる。専門家の間では、性能面で安心の出来るめっきは金であると指摘もなされており、錫-鉛合金からの金への切り替えに伴うコスト

アップを発注先がどのように判断するか今度の大きな課題である。

#### 【ボンディング性】

半導体素子の電極とパッケージリードとを、金やアルミニウム、銀の極細線で接続（熱圧着または超音波圧着）することをワイヤーボンディングと呼んでいる。つまりボンディングに際してのめっきに要求される特性のことで、皮膜の柔軟性、表面洗浄さ、加熱密着性が要求される。一般的には、金めっきや銀めっき、無電解ニッケルめっき、ニッケルボロンめっきが利用されている。

近年、シリコンウエハ上やプリント基板上、あるいはセラミック基板上の金めっきリード電極に、ワイヤーボンディングを使わずにベア IC を直接接合する (FC=フリップチップ実装) 金バンプめっきや鉛フリーバンプめっきも実用化され、モジュールの一段の小型化に貢献している。

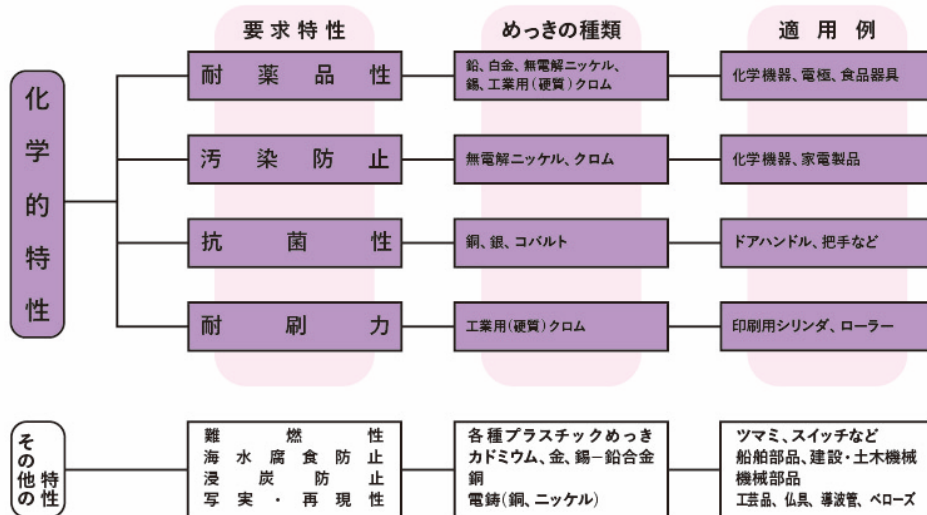
#### 【多孔性】

表面に多数の微小孔（ポーラス）を有する特性のことで、内燃機関のシリンダーやピストンリングなどの部品では、硬質クロムめっきが効果的で広く利用されている。

## 化学的特性

機能めっき

### 化学的特性 / その他の特性



#### 【耐薬品性】

化学薬品に対して耐食性を有する特性のこと。

この特性が要求される製品は、化学工業で用いられる各種塔槽類（反応槽、攪拌槽、蒸留塔など）や熱交換器、バルブ、フランジ、ポンプなどで、鉛めっきや錫-鉛合金めっき、硬質クロムめっき、無電解ニッケルめっきが利用されている。電極では白金めっきも使われている。

食品加工機械のように有機酸に対する耐食性が必要な製品・部品では、錫めっきが広く利用されている。

#### 【汚染防止】

化学機器などの接液面にスケールが付着するのを抑制する性質のことで、無電解ニッケルめっきにこの特性のあることが指摘され、その耐薬品性と相まって、広く利用される。

また装飾用途では、細菌などの繁殖を抑制する性質があり、汚れにくく清潔感を維持できるめっきとして、クロムめっきが冷蔵庫ハンドルや自動車のドアノブに使われている。

#### 【抗菌性】

プラスチックなどの有機質表面と比べて金属の表面では細菌の繁殖が極めて遅くなることが知られている。この特性を利用し、化学繊維上に銅あるいは銀めっきを施して靴下の中に

編み込むことで、水虫防止や消臭効果を付与出来る。院内感染を引き起こす細菌類に対する抗菌効果の高いめっきには、コバルトめっきがあり、ニッケル-コバルト合金めっきが医療機器などに利用されている。

#### 【耐刷力】

鮮明な印刷をおこなう上で欠かすことの出来ない特性である。印刷用のシリンダーやローラーには、この特性が必ず要求される。

オフセットやグラビアなどの刷版用シリンダーやローラーに硬質クロムめっきを施すと、鮮明な印刷がおこなえるだけでなく、寿命の延長、インクによる腐食の防止、インク掻き取り（除去）の容易さ、その際の摩耗防止が出来る。また再生に際してはクロムめっきの剥離のみでよく、再彫刻せず容易に再めっきできる。

グラビアローラー（銅版）は、通常 10 万部で使用に耐えることで出来なくなるが、これに 3~10 $\mu$ m の硬質クロムめっきを施すと 100 万部以上でも鮮明な印刷をすることが出来る。

#### 【難燃性】

プラスチックを金属被覆して熱に対する弱さを補うことが可能となる。各種のプラスチックめっきで付与することができる特性である。

#### 【海水腐食防止】

海水中あるいは塩分に対する防食性、耐食性のことで、船舶部品・海底通信機器（中継器）、建設・土木機械などに要求される特性である。

防食用には一般にカドミウムめっきが利用されるが、海底中継器では高い信頼性のある錫-鉛合金めっきや金めっき、白金めっきが利用される。硬質クロムめっきでは 30~50 $\mu$ m、あるいは 100 $\mu$ m の厚さのものが適用されるがより腐食環境が厳しい場合は、素材をステンレスにしたり、下地にニッケルめっきを 10 $\mu$ m 前後処理したり、ダブルニッケルめっき、無電解ニッケルめっきを施したりしている。

#### 【浸炭防止】

鉄鋼部品の浸炭防止を目的で広く利用されているのが銅めっきである。

#### 【写実・再現性】

原型を忠実に再現出来る特性で、超厚付けめっきの電鍍が利用されている。

美術工芸品や仏具、レリーフ、工業用では導波管やベローズ、電気カミソリの刃や網蓋、CD-R や DVD などのスタンパーに銅やニッケル、金などの電鍍が活躍している。

引用：全国鍍金連合会 2006 電気めっきガイド

