

面向5G时代的铜箔开发及课题

苏州福田技术有限公司 技术研究开发室

FUKUDA
SUZHOU FUKUDA METAL CO., LTD.

前言

次世代无线通信规格，5G时代眼看来临，5G除了连接人，还连接万物。
伴随5G时代的到来，移动通信设备的高频高速需求日益凸显。



除了半导体部件，作为搭载连接半导体部件的基板材料，整体的高速化需求都很迫切。

今天主要就作为连接导体的铜箔材料的高速化对应以及面临的课题与大家一起分享。

5G时代需要什么样的铜箔？

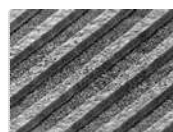
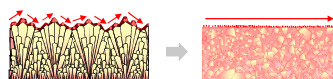
FUKUDA
SUZHOU FUKUDA METAL CO., LTD.

从以往的技术发展来看，都是些很明显的趋势

- 低粗度
 - 基材接触面的粗糙度低
- 高接着力
 - 与基材的接着力高
- 高耐热性
 - 与基材的接触面、非接触面都要有很强的耐热抗氧化能力
- 高屈曲性 (flexibility)
 - For FCCL

接着面低粗度化的必要性

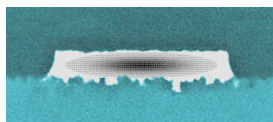
- 降低传输损失
 - 缩短传输路径
- 高精细线路的形成
 - Fine pattern化，阻抗控制
- 高多层化
 - 绝缘层间距离的缩短



从降低传输损失的角度来看铜箔低粗度的必要性

铜箔和基材(树脂) . 为什么 需要低粗糙度的铜箔？

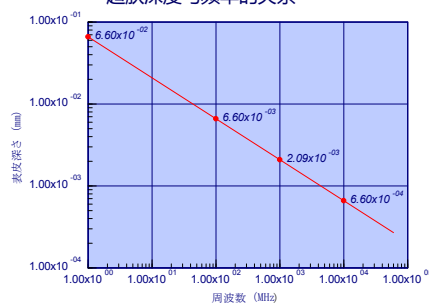
趋肤效应的影响



上面是铜箔线路的断面示意图，高频状态下电阻变大，绝大部分电流都集中在线路表面，因此铜箔的表面元素以及粗糙度都对高频信号的传输有很大的影响。

→需要更平滑的铜箔

趋肤深度与频率的关系



· 频率越高，趋肤深度越浅。

1GHz时趋肤深度为 $2\mu\text{m}$ 。

10GHz时趋肤深度只有 $0.66\mu\text{m}$ 。

树脂在降低传输损失方面的应对

除了导体(铜箔)之外，树脂材料方面在降低传输损失上也在积极应对

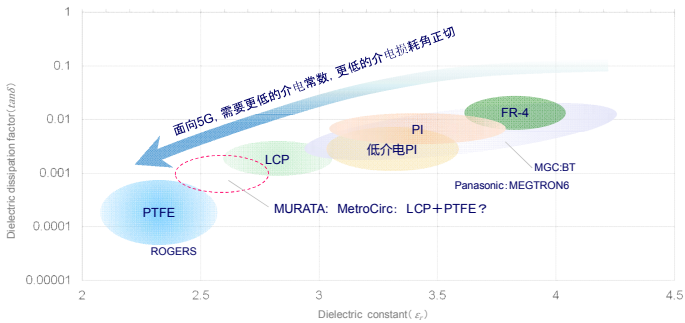
$$Propagation\ velocity = k \frac{C}{\sqrt{\epsilon_r}} \dots\dots ①$$

$$Transmission\ loss = k f \sqrt{\epsilon_r} \tan\delta \dots\dots ②$$

$\tan\delta$: dielectric dissipation factor
 ϵ_r : dielectric constant
 k : constant
 f : frequency
 C : velocity of light

要实现高速、低损失的传输，就需要
①减少传输延迟，②降低传输损失。
因此，树脂方面也在开发具有低介电常数(ϵ_r)和低介电损耗角正切 ($\tan\delta$) 的材料。
树脂的吸水性对介电常数及介电损耗角正切都有影响，为了减少影响，就需要控制树脂的吸水性。从线路板的热稳定性来考虑，最好是接近铜的热膨胀系数 (CTE)。

各厂家在低传输损失基材方面的努力



PTFE、LCP的电性能良好，但与铜箔的接着性不能说良好。
另外，因为是热塑性树脂，多层化难度高。
而PI存在吸湿性高的问题，不过通过改良，目前也出现了可以应对20GHz的介电体。

各厂家在低传输损失基材方面的应对

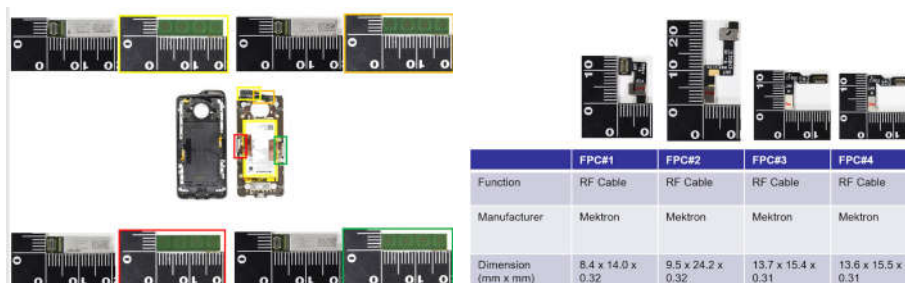
价格及各厂家的代表产品

| 基材 | ϵ_r : 介电常数 | $\tan\delta$: 介电损耗角正切 | 价格 |
|------|---------------------|------------------------|---------|
| FR-4 | 4.8 (@1GHz) | 0.015 (@1GHz) | 100 |
| PPE | 3.5 (@1GHz) | 0.002 (@1GHz) | 200~400 |
| PTFE | 2.2 (@10GHz) | 0.0006 (@10GHz) | 400~600 |
| PI | 3.2 (@1GHz) | 0.002 (@1GHz) | 500~700 |

| 厂家 | 产品名称 | 主要材料 | 备注 |
|----------------------------------|------------------|------------|------------------|
| Kurare | Vecstar | LCP | 有手机应用实绩 |
| Murata | Metro Circ | LCP+PTFE | LCP+PTFE |
| Panasonic | Megtron | PPE? | 替代氟系树脂 |
| Sumitomo Chem. | SUMIKA SUPER LCP | LCP | 可溶性LCP开发 |
| Rogers | CuClad | PTFE | 在基站等方面有压倒性实绩 |
| | RO4000 | HC/ceramic | 非氟系树脂 |
| Nippon Steel Chemical & Material | ESPANEX F | PI | 低介电PI，可应对20GHz以下 |

5G対応モデムモジュール “5G moto mod” (Verizon) 28GHz

アンテナモジュール接続にはLCPが使用されている



日経XTECH, 2019.6.24より

FUKUDA
SUZHOU FUKUDA METAL CO., LTD.

低传损基材与低粗糙度铜箔的接合

一直以来，在电解铜箔的各种接合形式中，大部分是依靠机械投锚效果来实现的。
但是为了降低传输损失，需要降低粗糙度，这样就需要减少对投锚作用的依赖，
如此要满足与各类树脂基材的接着力的化就很难困难。

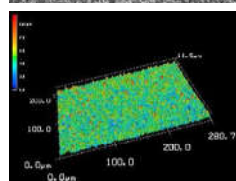
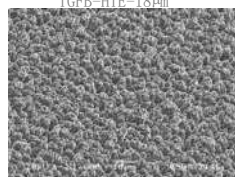
- ✿ LCP树脂的表面有一层非常坚硬的表层，投锚效果微弱
- ✿ LCP原本就属于比较难接合的树脂材料，通常的偶联剂作用也不明显
- ✿ 电能优异的PTFE基材，因其表面反应活性低下，也很难接合

因此，需要在尽可能不提高粗糙度的前提下，又能保持接着力。

苏州福田社内不同类型铜箔粗糙度及微观形貌对比

标准铜箔 HTE

TGFB-HTE-18μm



Rz

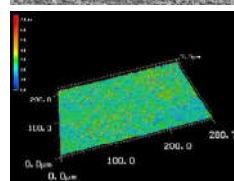
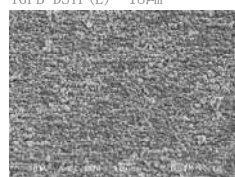
6.4μm

Rq

1.30μm

低轮廓反转处理铜箔 VLP

TGFB-DSTF (L) -18μm

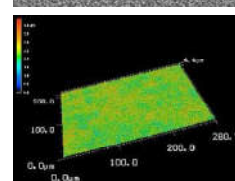
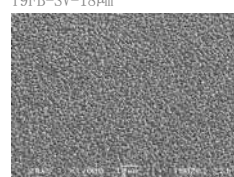


2.5μm

0.58μm

超低轮廓处理铜箔 HVLP

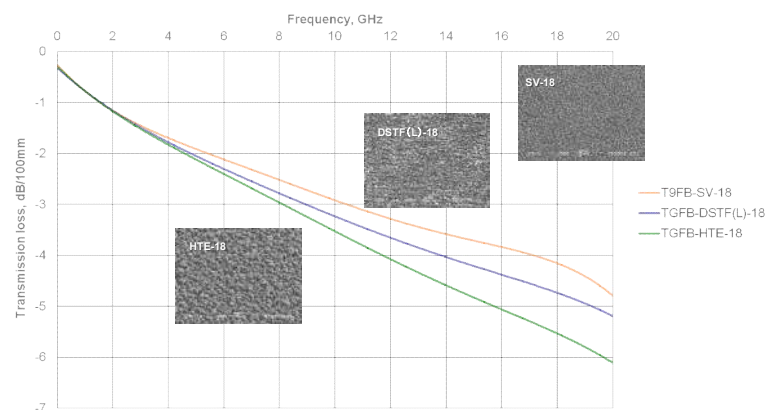
T9FB-SV-18μm



1.5μm

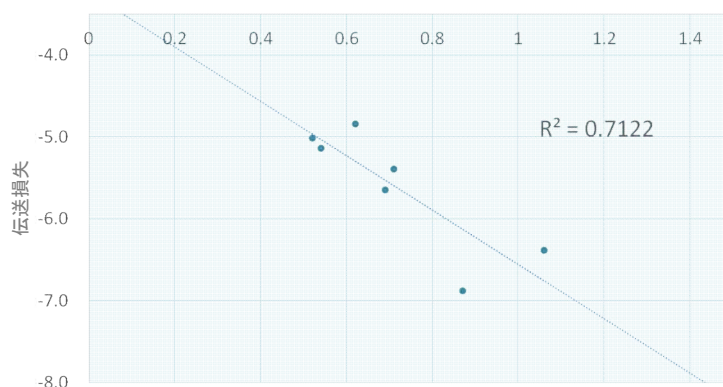
0.28μm

苏州福田社内不同类型的铜箔高频特性对比



随着铜箔粗糙度的降低，其高频传输损耗也越来越低。

伝送損失(dB)の接着面粗さ(Rq)変化

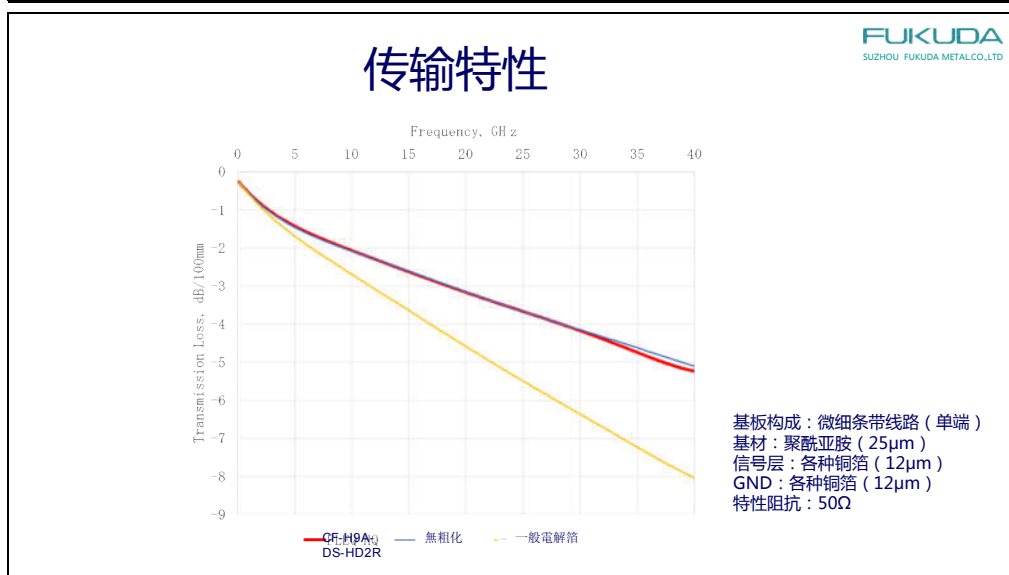
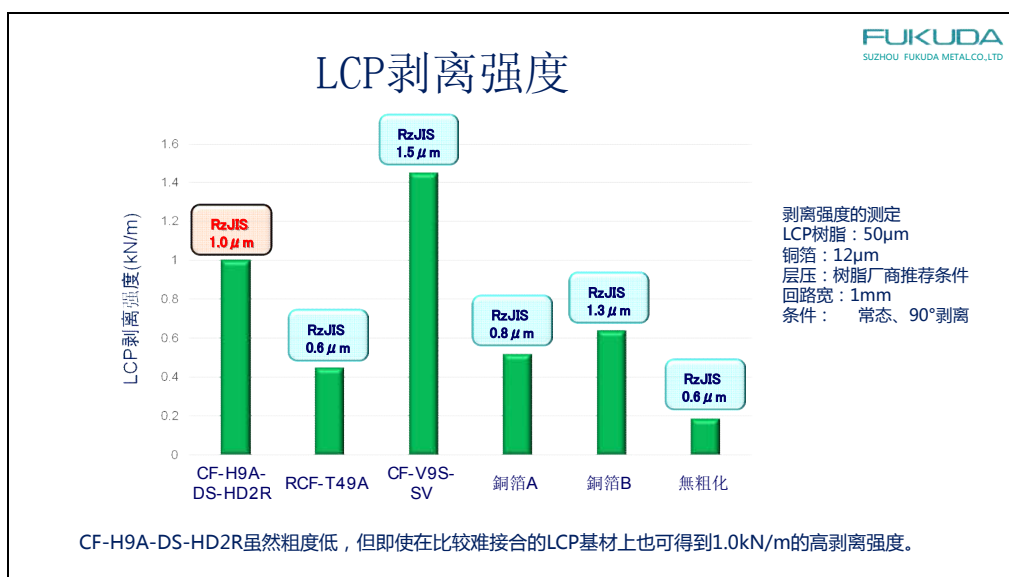


粗化处理面形状 SEM像



*对应2D面积为177 μ m²的结果

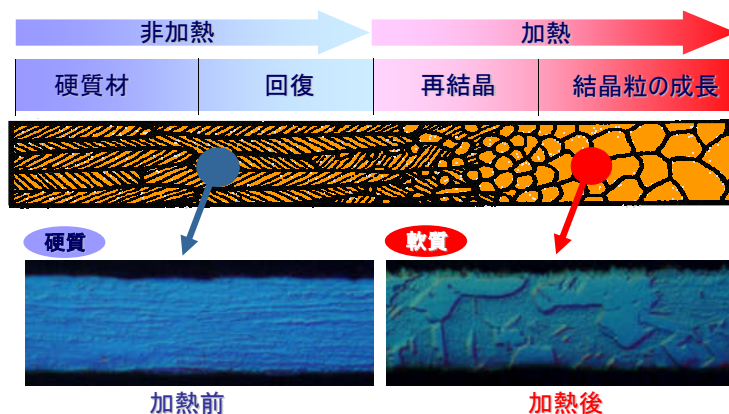
CF-H9A-DS-HD2R的粗化粒子大小，粗度和3D表面积介于ROFL-T49B和CF-V9S-SV中间，是兼顾剥离强度和传送损失的一款产品。



屈曲性の要求

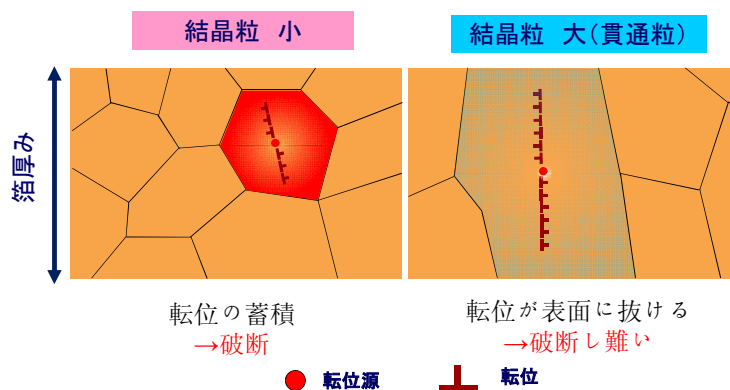
- FCCLでは銅箔に屈曲性が要求される
- 従来, FCCLにおいては圧延銅箔が使用されてきた
- その一方で圧延銅箔には次のような問題点が存在する
 - 比較的薄箔が作りにくい □□□□□ ピンホールの問題
 - 幅の制約 □□□□□□□□□□ m 幅が出来ない
- 圧延銅箔に匹敵する屈曲性に優れた電解銅箔は出来ないか?

圧延銅箔の熱による結晶構造の変化



破断メカニズム概念図

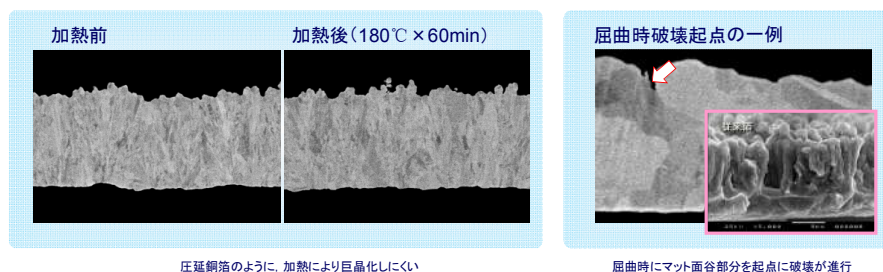
低サイクル疲労



従来電解銅箔の問題点

FUKUDA
SUZHOU FUKUDA METAL CO., LTD.

- 再結晶により結晶組織が巨晶化しにくい
- 電着終了点側（マット面）の山谷形状による切り欠き点の存在



FUKUDA
SUZHOU FUKUDA METAL CO., LTD.

FCCL用，特殊電解銅箔に求められる性質

- 再結晶性に優れている
- 巨晶化する → 貫通粒による歪みの開放
- 薄箔であること → 曲げ応力が小さくなる

比較的低温から再結晶

MIT試験

屈曲試験の概念図
IPC-FC241C, JIS C 5016

低サイクル疲労に強い

ハゼ折り、折紙試験
弊社では自動化して評価

特殊電解銅箔（HD箔）の加熱前後の結晶粒変化 / FIB加工-SIM像

熱処理前

10μ

熱処理後
180℃×60min

10μ

HD箔は再結晶するタイプの電解銅箔

※Y軸方向は45度傾斜観察のため上記のスケールとなります。

特殊電解箔 HD の特徴

HD

RCFT

HDの結晶方位カラーマッピング

平均粒径: 11.4μm

平均結晶粒径も大きく、貫通粒も存在する

- 圧延銅箔を凌駕する屈曲特性を有する
- 圧延のような物性の異方性も少ない

圧延箔 HD 100 99 96 73 94 90 45

TD 方向

MD 15 方向

MD 方向 (0°) の最大MIT値を100とする指数で表示

MIT試験 100℃ 30分加熱後 MD方向

指数

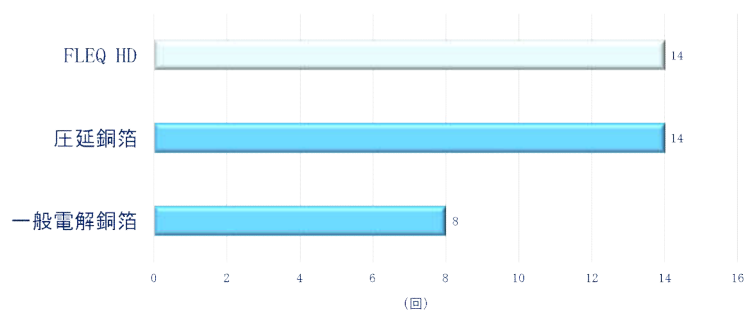
HD 特殊電解 一般電解

規格: 1/2mm, 厚さ: 100μ, 標準厚さ: 0.05mm

HD箔は従来電解箔は基より特殊電解箔 (SV) をも上回る優れた屈曲特性を示します

折り曲げ特性 HD

各種銅箔のはぜ折り回数



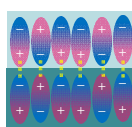
FLEQ HDは電解銅箔でありながら圧延銅箔と同等のはぜ折り性を有します。

对粗化处理依赖性小的接合方法

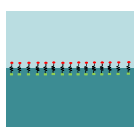
接合の基础知识

材料表面之间存在着很多的相互作用。在接合时，主要有以下几种相互作用。

- 物理作用 ····· *van der Waals force*
- 化学作用
- 机械接合 ····· 投锚作用



物理作用



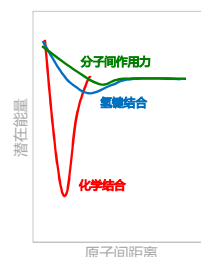
化学作用



机械接合



一般銅箔表面形状



潜在エネルギー概念図

从降低传输损失的角度，无法依赖投锚效果，所以只能期待强力的化学作用。

分子结合の考虑

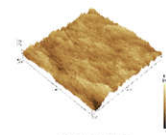
一直以来，在电解铜箔的各种接合形式中，大部分是依靠机械投锚效果来实现的。

但是为了降低传输损失，需要降低粗糙度，这样就需要减少对投锚效果的依赖 ····· 分子结合

- 与依靠表面润湿、凹凸来结合的方法不同，主要是通过表面之间的化学作用来结合的方法
- 可以期待比氢键以及分子间作用力 (*van der Waals force*) 更加可靠

- 但也有些分子间无法结合的情况

- 不光滑表面之间
- 表面有脆弱层时
- 表面化学稳定性高时



像LCP、PTFE就存在此类因素

要实现分子结合

基材和铜箔的表面需要做些什么呢？

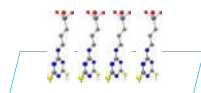
PTFE、LCP的电气特性优异，但存在表现活性差以及脆弱层的问题，导致表面分子难结合。

不过针对这些缺点，目前行业也在努力改进……表面改质

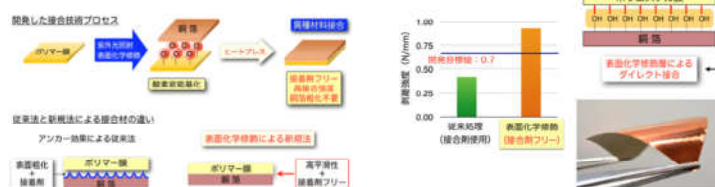
基材表面改质

LCP表面进行UV照射……表面生成-COOH

- LCP表面进行氧气以及氮气等离子处理……通过脂键开裂获得C=O键，去除脆弱层
- PTFE + Cu电子照射……因为不需要引物，对介电常数、介电损耗角正切的影响小
- 使用偶联剂、三噁硫醇类化合物处理



新的接合技术



2019/03/12 産総研 “5G低損失基板に向けた高強度異種材料接着を開発” (産総研HPより)

- 通过紫外线照射使聚合物表面形成含氧官能团
- 不使用接着剂，直接与铜箔贴合，不用粗化处理
- 能否做出高精细线路？
- 没有防扩散层，能否耐得住蚀刻？

总结

作为今后面向5G的铜箔，

- 需要所谓的“无轮廓铜箔”……不需要多余的粗糙度！
 - 比如 $R_z < 1.0\mu\text{m}$
- 但，现实问题是，没有粗化处理的化就没办法保持稳定的接着力
- 因此，就需要微细粗化处理
- 不含强磁性元素(?)的处理层的开发

但，在与具有优异电性能的多样化的树脂材料的匹配性方面，如何取得平衡？

铜箔厂家与树脂材料厂家之间的“切磋交流”变得尤为重要！