

## 【高速先生原创|高速串行系列】当时速 214 公里的法拉利遇上碎石子路，当高速信号邂逅表面粗糙的铜箔……

作者：王锐      一博科技高速先生团队成员

近日，大家可能都听说了一起香港豪车帮在深圳飙车的事件，交警查扣麦凯伦、法拉利、兰博基尼、GTR 等各种豪车 11 台。



大家可能就要问了，这香港的豪车帮干嘛要跑到大陆来飙车呢？当事司机说了，香港道路窄，限速低，处罚严，听说大陆的路宽，又平坦。于是就申办了一次性临时入境行驶证，感受下驾驶乐趣，体验下巅峰感觉。据监控录像显示，跑车在深圳段的平均时速是 214 公里/小时左右，那最高时速可就不只 214 了，从深圳南山到达东莞地界仅用 7 分多钟。这样的速度，想想确实够巅峰，飞一般的感受呀。

如果把这些豪车拉上碎石子路，而不是平坦的沥青路，还能不能体检这飞一般的感受呢？

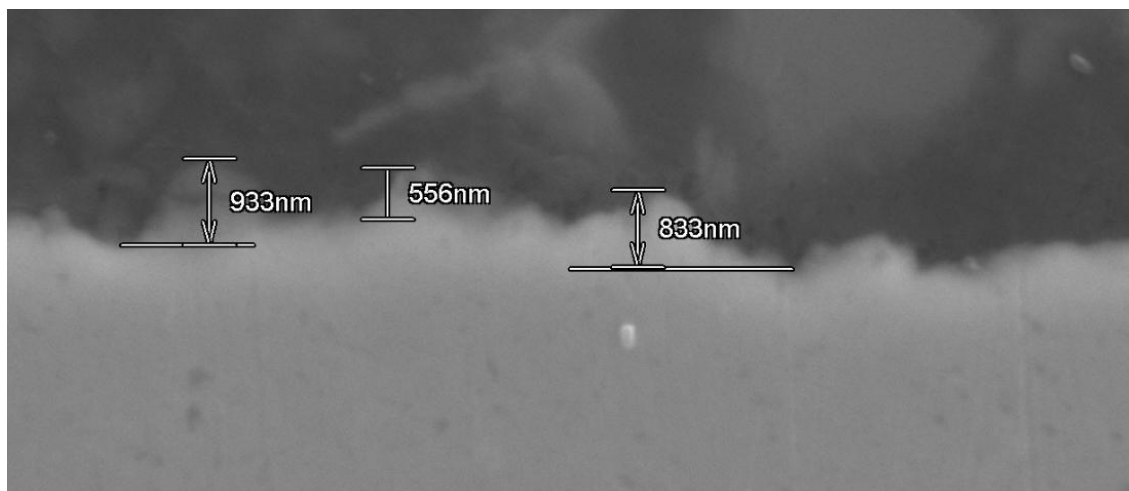
### 如何关注

- 1、搜索微信号“高速先生”
- 2、扫描右侧二维码，开始学习

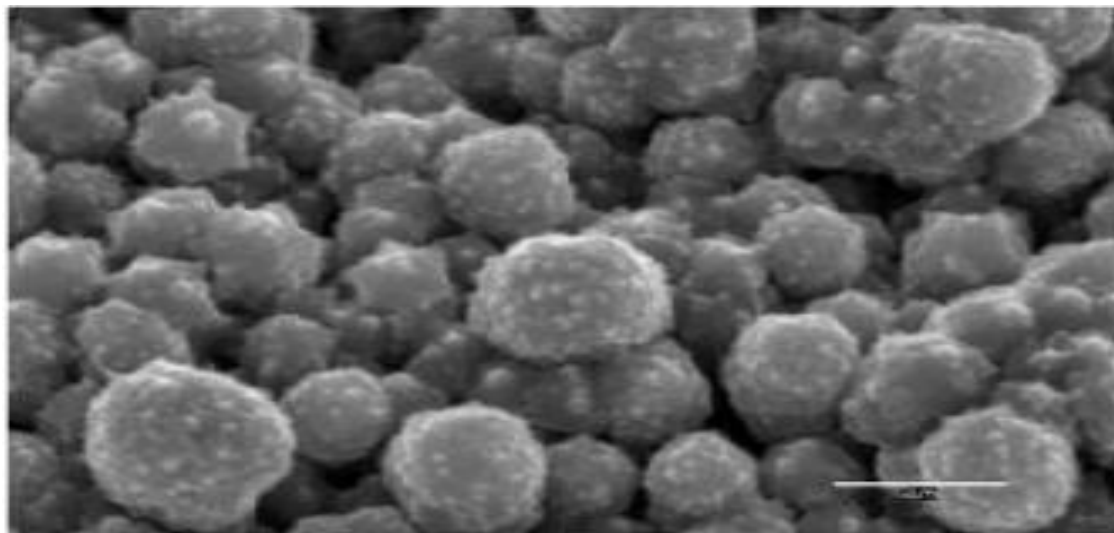


在高速信号设计中，也有豪车遇上碎石子路的现象，那就是，高速信号遇上了表面粗糙的铜箔。

在实际生产过程中，为了让铜箔能与介电材料 (FR4, 玻璃纤维环氧树脂) 更好的黏合, 在 copper 与 FR4 的接合处会有较大的 roughness。在 PCB 设计过程中，工程师或多或少都会考虑一下粗糙度的影响，那粗糙度对信号的影响到底是什么呢？是影响特性阻抗，还是影响损耗呢？影响又有多大呢？



图(1) 1oz 铜的表面粗糙度



图(2) 表面粗糙度微观图

#### 如何关注

- 1、搜索微信号“高速先生”
- 2、扫描右侧二维码，开始学习

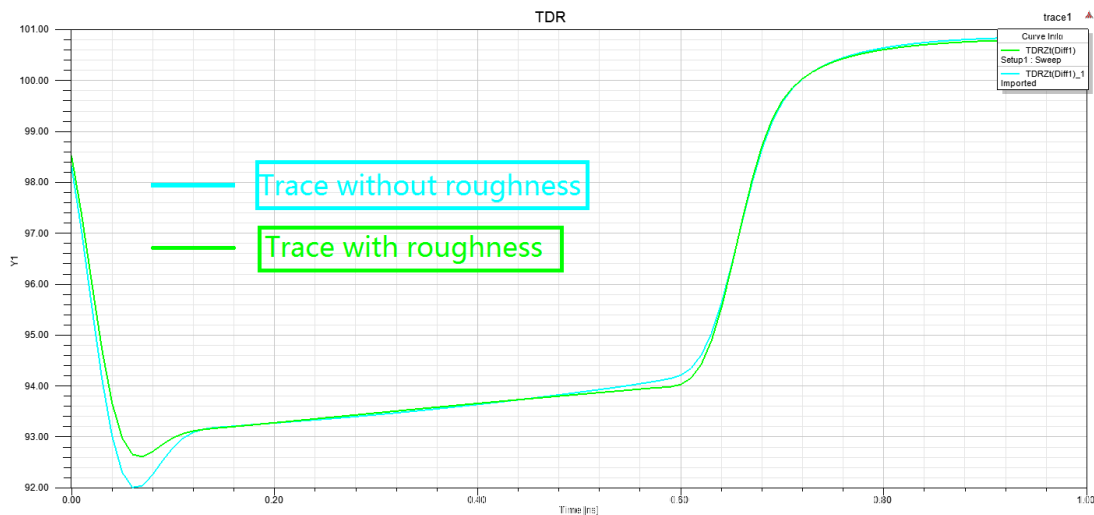


在这里引入一个名词，趋肤深度，表达式为  $\delta_s = \sqrt{1/\pi f \mu \sigma}$ ， $f$  是信号频率， $\mu$  是导磁率， $\sigma$  是导电率。当信号的频率越来越高，信号传输就越来越靠近导体的表面，趋肤深度越来越小，信号传输受粗糙度的影响就越来越严重。

有资料表明，表面粗糙度对特性阻抗影响不大(约 0.5 ohm)，对插入损耗影响很大(可能超过 30%)，粗糙面(roughness)与平坦面(flat)，在高频(趋肤效应区)对 S21 的影响可达 1~2 倍的差距，这样的说法是否合理呢？

下面，我们通过仿真对比，分析一下平坦面和粗糙面对插入损耗的影响：

仿真对象：外层、FR4 介质厚度 3.5、盖绿油、线长 2000mil、铜厚 0.5oz+plating、粗糙度 1um。

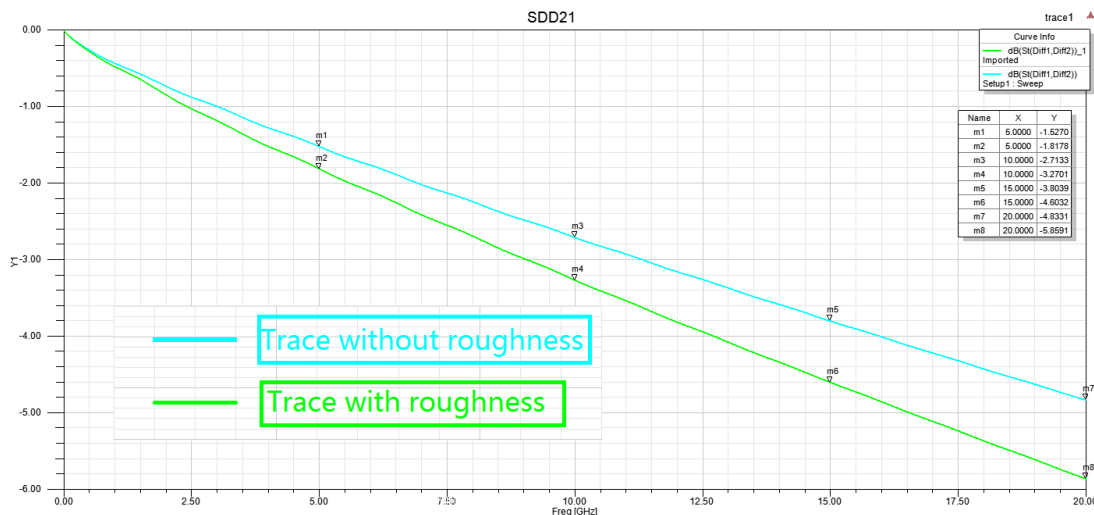


图(3) TDR 曲线

如何关注

- 1、搜索微信号“高速先生”
- 2、扫描右侧二维码，开始学习





图(4) 插入损耗曲线

| name | Freq (GHz) | SDD21 (dB) | Ratio [ (G-B) / B ] |
|------|------------|------------|---------------------|
| B1   | 5          | -1.5270    | 19.0%               |
| G1   | 5          | -1.8178    |                     |
| B2   | 10         | -2.7133    | 20.5%               |
| G2   | 10         | -3.2701    |                     |
| B3   | 15         | -3.8039    | 21.0%               |
| G3   | 15         | -4.6032    |                     |
| B4   | 20         | -4.8331    | 21.2%               |
| G4   | 20         | -5.8591    |                     |

注：B=blue trace(无粗糙度)，G=green trace(有粗糙度)

从曲线和表格中可以看出，粗糙度对阻抗的影响很小；高频的时候，粗糙度对传输线插入损耗的影响在 20%左右，近乎五分之一，可想而知，五分之一的影响是很值得注意的，如果在 PCB 设计中忽略了 this 影响，导致的后果将会是非常严重的。

如何关注

- 1、搜索微信号“高速先生”
- 2、扫描右侧二维码，开始学习



## 【关于一博】

一博科技专注于高速 PCB 设计、PCB 制板、焊接加工、物料供应等服务。作为全球最大的高速 PCB 设计公司，我司在中国、美国、日本设立研发机构，全球研发工程师 500 余人。超大规模的高速 PCB 设计团队，引领技术前沿，贴近客户需求。

一博旗下 PCB 板厂成立于 2009 年，位于广东四会（广州北 50KM），采用来自日本、德国的一流加工设备，TPS 精益生产管理以及品质管控体系的引入，致力为广大客户提供高品质、高多层的制板服务。

一博旗下 PCBA 总厂位于深圳，并在上海设立分厂，现有 12 条 SMT 产线，配备全新进口富士 XPF、NXT3、全自动锡膏印刷机、十温区回流炉等高端设备，并配有波峰焊、AOI、XRAY、BGA 返修台等配套设备，专注研发打样、中小批量的 SMT 贴片、组装等服务。

## 【关于高速先生】

高速先生由深圳市一博科技有限公司 R&D 技术研究部创办，用浅显易懂的方式讲述高速设计，成立至今保持每周发布两篇原创技术文章，已和大家分享了百余篇呕心沥血之作，深受业内专业人士欢迎，是中国高速电路第一自媒体品牌。



扫一扫，即可关注

### 如何关注

- 1、搜索微信号“高速先生”
- 2、扫描右侧二维码，开始学习

