

为什么 QCM 芯片的共振频率是 5MHz



QCM 芯片的基频通常为 5MHz。但有的是 10MHz, 15MHz 甚至更高。那么, 基频是由什么决定呢? 我们在这里来解释一下这个数字背后的理论。

用连接到墙上的绳子来打个比方

想象一下, 一根绳子的一端连接到墙壁上, 而另一端自由什么运动都不接。通过向自由端引入运动, 波将沿着与固定端撞击的弦传播。在一定频率下, 会形成驻波。这称为共振频率 f , 与波长 λ 和群速度 v 相关, 群速度 v 它又是弦的密度 ρ_l 和弦张力 F 的函数

$$v = \sqrt{\frac{F}{\rho_l}} \quad (1)$$

这里 v 是群速度， ρ_l 是一维密度

波的传播速度 v ，波长 λ 和振荡频率 f 之间的关系为：

$$v = \lambda \cdot f \quad (2)$$

对于谐波的基频，频率 f 和弦长 $L = \lambda/2$ 之间的关系如下式（1）和（2）所示：

$$f = \frac{1}{2L} \sqrt{\frac{F}{\rho_l}} \quad (3)$$

对于第 n 个泛音，该关系为：

$$f = \frac{n}{2L} \sqrt{\frac{F}{\rho_l}} \quad (4)$$

这意味着如果弦的长度增加，密度增加或弦张力减小，则共振频率降低

如果将其转换为振荡的二维或三维材料（例如 QCM 芯片），则将看到该材料的共振频率取决于负载在传感器表面的密度、厚度以及质量/压力

声音的速度由下式给出：

$$v = \sqrt{\frac{K}{\rho}} \quad (5)$$

其中 K 是体积模量（在固体材料的情况下），而 ρ 是密度

α 石英是 QCM 传感器中的常用材料，其密度为 2648 kg/m^3 ，体积模量为 37.5 GPa 。

代入上面的等式中，得出的声波传播速度为 3760 m/s 。

以 QCM 传感器为例，一个 340 微米 厚的片状材料的基本共振频率为：

$$f = \frac{v}{2t} = \frac{3760}{2 \cdot 340 \cdot 10^{-6}} \approx 5 \text{ MHz} \quad (6)$$