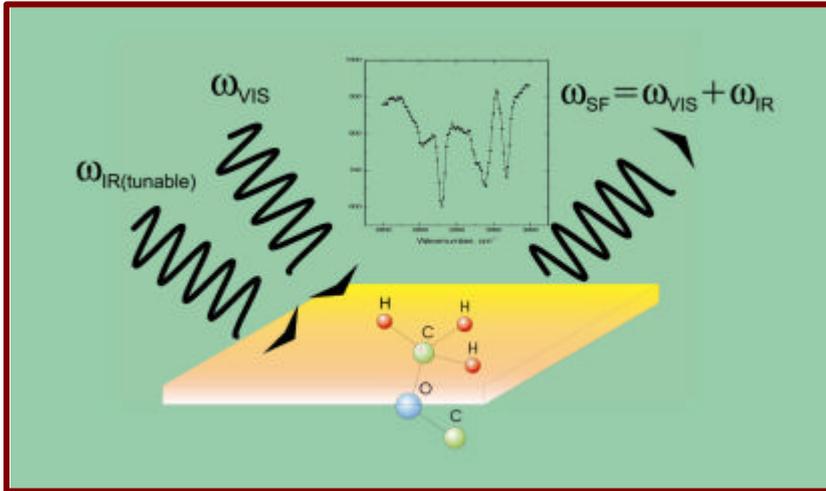


关于 SFG 的问答：

1 什么是 SFG?

SFG 是 英文和频光谱的字头缩写。顾名思义就是观测两束激光在和物质相互作用时产生的和频信号的一种光谱学测量技术。图示如下：



ω_{IR} 为波长在 2.3-10 μm 的远红外可调谐激光。 ω_{VIS} 为可见光波段固定波长的激光。 ω_{SF} 为需要测量分析的和频光谱信号。我们所说的和频光谱,就是用探测器测量,对于某种介质,在某种特定的条件下,所产生的 ω_{SF} 信号的强度随 ω_{IR} 波长改变而变化的规律。

2 . SFG 为什么可以用于表面特性研究？

SFG 信号具有表面选择性,即只有在界面那一层的原子或分子对和频信号有贡献,而表面之外的分子或原子对和频信号无贡献。

3. 为什么入射的两束光一束选择远红外光,另外一束选择可见光？

和频光谱研究的对象多数和分子的振动能级相关。而振动能级的能级间隔转换成波长,恰好在 2.3-10 个微米着样的区间。

另一束光采用可见光,那么和频光信号就落在可见光的短波区间,或者是近紫外区。在这个波段有多种高灵敏的探测器可供选择。和频光谱信号通常很微弱。在这个波段更有利于这种微弱信号的检测。

4 . 为什么要用皮秒激光器,而不用脉冲宽度更长的纳秒激光器或更短的飞秒激光器？

作为一种非线性过程,和频信号的产生需要有一定的激发峰值功率。通常的纳秒激光器无法达到所需要的光功率密度。另外在纳秒波段,没有一种成熟的技术可以产生波段在 2.3-10 微米波段的可调谐远红外激光光源。

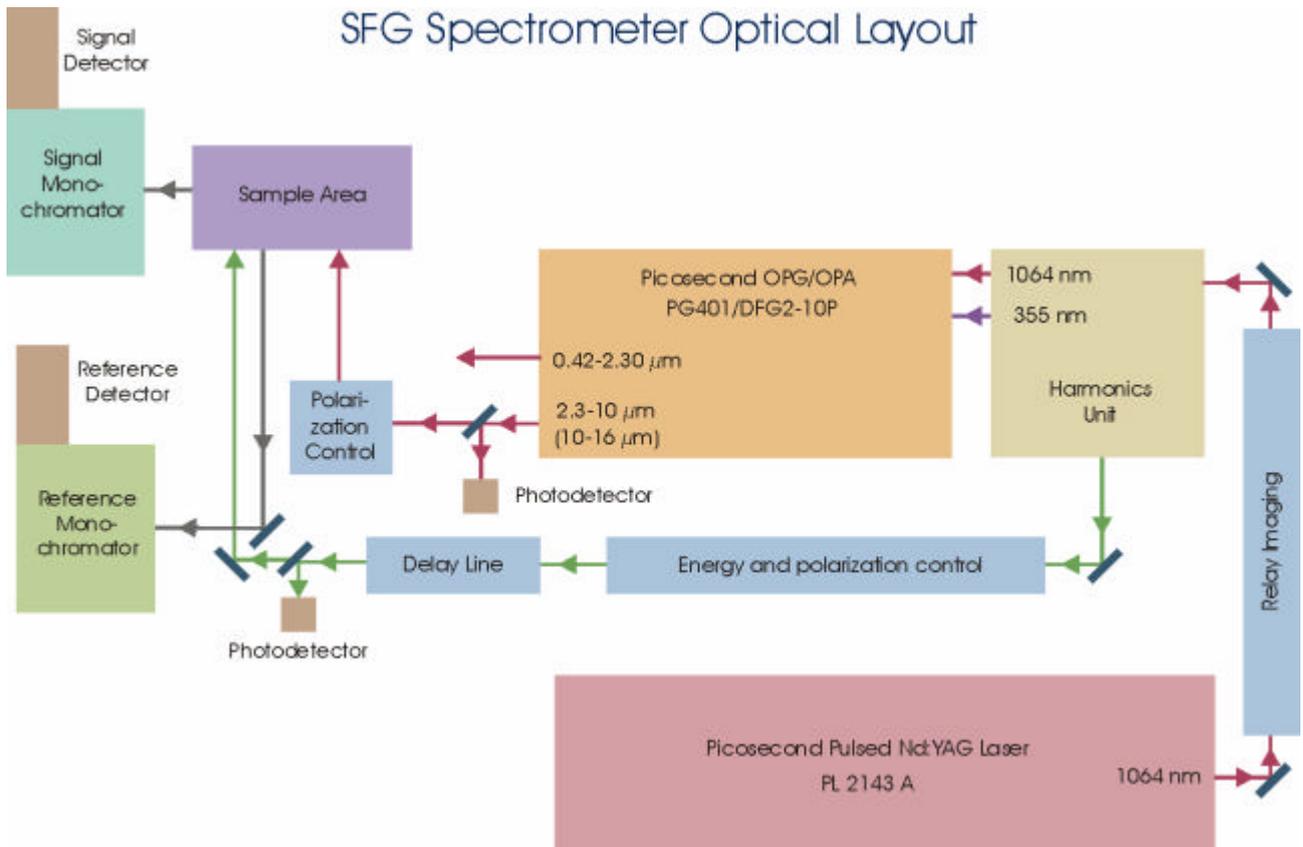
另外,SFG 作为一种光谱学技术,需要有一定的光谱分辨率。飞秒激光器能够输出更高的光功率密度,但由于受到傅立叶变换极限的限制,其能够产生的远红外可调谐激光的线宽较宽,这就限制了飞秒和频光谱的光谱分辨率。的确有一些研究单位在开展飞秒和频光谱的研究。但实践证明其应用效果不如皮秒和频光谱技术。

皮秒激光在脉冲宽度和光谱线宽之间取得了一个良好的折中。而且已经有成熟的皮秒光参量技术可

以有效地产生 2.3-10 微米波段的可调谐输出。所以皮秒激光光源成为和频光谱技术的最佳选择。

5. 和频光谱测量系统是由哪些核心部件组成的，其工作流程是什么？

和频光谱测量系统的构成如下图：



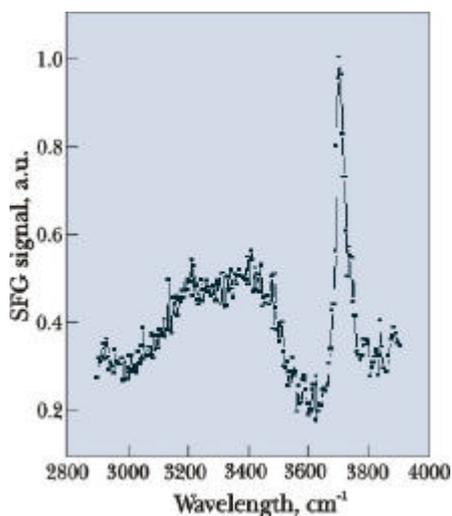
其工作流程为：皮秒激光器产生脉冲宽度为 30-40 皮秒，脉冲重复频率为 10 赫兹的 1064nm 近红外基频输出。该基频输出经过谐波转换部件，输出两路新的波长的光。一路为紫外 355nm，另外一路为可见的 532nm。532nm 的可见光将被用来作为和频发生的一路光束。355nm 的紫外光将被用来作为光学参量发生器的泵浦光。

355nm 的紫外光泵浦参量发生和放大器 PG401 输出波长在 420-780nm 的信号光和波长在 780nm-2.3μm 的近红外闲置光。

PG401 输出的波长在 780nm-2.3μm 的闲置光，同皮秒激光器输出的 1064nm 近红外光经过倍频和三倍频转换后剩余的部分在差频发生器 DFG2-10P 中差频后输出波长在 2.3-10μm 的远红外可调谐输出。这束光将被用来作为参与和频过程的另外一束入射光。

采用光栅压缩线宽技术，最终产生的可调谐激光的线宽可以控制在小于 6 cm^{-1}

两束参与和频过程的入射光通过复杂的偏振控制，光强控制，光程控制，光路控制部件，以合适的角度，合适的光强，确定的偏振方向，尽可能大的表面重合度，在尽可能相同的时刻，照射在待测样品的表面。所产生的和频光谱信号，经过仔细的空间，时间和偏振态滤波，以尽可能高的信噪比被光电探测器接受并传送给系统控制和数据分析计算机。计算机根据所得到的和频光谱信号和相应的激发远红外激光波长，自动绘制出和频光谱曲线来。一个典型的和频光谱曲线如下：



这是一个水和空气界面产生的和频光谱图。

6 . Ekspla 公司的 SFG 系统的核心技术是什么？

是产生脉冲能量稳定，脉冲宽度稳定，从而每个光脉冲的峰值功率也是稳定的“三稳”皮秒激光技术。

Ekspla 公司是目前领导皮秒激光器和相关设备前沿技术的著名厂商。该公司研制和生产皮秒脉冲激光器，皮秒脉冲光参量发生器，放大器，差频器。以及由这些光源为主要部件构成的非线性光谱测量系统。SFG 系统是该公最为先进的光谱测量系统。Ekspla 是国际该领域内占绝对主导地位的系统研发制造商。

该公司的皮秒激光器有两个系列--采用锁模机制的 PL 系列和采用激布利渊散射压缩机制的 SL 系列。用于 SFG 系统的 PL 系列的特点如下：

1) 三稳：能量稳定，脉宽稳定，峰值功率稳定。

PL2140 系列产品采用主动负反馈主振荡器配合再生放大器技术。采用这种技术不仅可以提高输出能量稳定性至 1.5% @ 1064nm, 3% @ 532nm, 5.5% @ 355nm, 7% @ 266nm. 而且可以给出脉冲宽度的稳定性至 1.0% @ 1064nm. 这是全世界唯一一种给出脉冲宽度稳定性的闪光灯泵浦皮秒锁模激光器。脉冲宽度稳定性直接决定了功率密度稳定性.这一突出特长对于许多应用，特别是非线性光学测量是至关重要的。和频光谱测量就是一个最典型的例子。采用该型号激光器产生的既具有非常高的能量稳定性又具有非常高的脉宽稳定性的皮秒 1.06um 光源，经过倍频，三倍频，参量产生，参量放大，最后直至差频等五次非线性转换和放大后，可以得到稳定性为 10%左右的远红外 (2.3~10um)输出，从而使介质表面的和频光谱测量成为可能。这是非常不容易的，因为每一次非线性转换过程都不可避免的带来输出稳定性的劣化。要想最后得到稳定的远红外输出，只能从源头上下功夫。最大限度地提高稳定性，特别是脉冲宽度稳定性和能量稳定性。

通常和频光谱的信号很弱，如果红外光源的稳定性差，要把和频光谱信号从噪声中分离出来，几乎是不可能的。这一特点对于其他应用也是非常关键的。

2) PL 系列激光器的突出特点还有皮秒脉冲的对比度 (Contrast ratio) 可达 200 : 1. 该公司的激光器还给出了偏振度等指标，而这些指标其它公司一般都不提供的。

3) PL 系列激光器已经淘汰了现在其他厂家还在使用的液体染料锁模技术，转而采用目前世界上最先进的全固态饱和吸收体锁模技术。这样可以避免定期更换染料过程中繁琐，困难的染料制备和光路调试。基本上可以做到免调试运转。采用这种技术可以大大提高设备使用效率，降低运行维护的成本和风险。是皮秒脉冲激光技术的重大进步。

4) 从它的皮秒激光器可以经过倍频,三倍频,参量振荡,参量放大,参量差频等五次非线性过程还能得到相当稳定的输出这一点可以间接证明他们的激光器的模式及稳定性是相当优良的,否则无法检测某些非常微弱的参量差频信号(如水-气界面的 SFG 信号).在非线性的研究领域久负盛名的美国著名华裔物理学家沈元壤(Y.R.Shen)在其不久前发表的一篇文章的引文[63]处就提到了 Ekspla 公司的 SFG 系统。

SFG 系统的原理并不复杂,但 Ekspla 公司能够研制出世界上第一套成功的商品化的皮秒和频光谱测量系统,其根本原因就在于找到了获得脉冲峰值功率稳定的皮秒激光光源的方法。

7 SFG 系统,除了 SFG 光谱外还能做哪些工作?

SFG 系统中的皮秒激光器,参量发生/放大器,和差频发生器,本身都是性能优良,覆盖从 420nm 至 10 微米广阔光谱波段的脉冲激光源。只要在相应的输出端放置合适的反射镜组件,均可以利用这些光谱输出从事其他有关的非线性材料特性研究等应用。在添置一些部件后,Ekspla 公司还能在这个设备的基础上,将系统升级为具有附加的倍频光谱测量,时间分辨光谱测量,泵浦探针法瞬态吸收测量,四波混频瞬态光栅法半导体材料特性测量分析系统等。

我们更可以在参量发生/放大器内增加倍频器,从而将可调谐输出的短波端拓展到 210nm。我们还可以在差频发生器中采用特殊晶体,将差频发生器的输出的长波端拓展到 18 微米。

作为设备研发供应商,我们对相关应用的了解,很大一部分来自于我们的用户的反馈。我们的想象力是有限的,我们的用户的想象力是无限的。