

光学头用阻尼胶的功能与评价

序言

近年来，以 CD、MD、DVD 为首的光学设备（以下简称 OPD）已逐步被应用于家电、计算机、游戏机和汽车导航系统中。仅 2001 年就有 3 亿台的产量，并以 10%左右的速度在增长。此类设备的核心部件是光学光驱激光拾音器（以下简称 PICKUP），它可以读取磁盘表面的激光反射信号。为了及时地防止 PICKUP 内外发生的轻微振动和伺服系统（位置调节）产生的反作用力，需要使用振动吸收剂即阻尼胶。本稿就株式会社三键开发的阻尼胶为主要对象，就阻尼胶的功能原理、特性和评价方法等进行简单的介绍。

目 录

序言	1
1、阻尼胶的功能	2
2、本社阻尼胶的特点	4
3、测试方法	6
(1) 针入度试验	6
(2) 激光多普勒振动仪	6
(3) 流变仪	6
总结	8

1、阻尼胶的功能

OPD是利用激光检测出磁盘上刻录的凹凸来播放（记录）信息的仪器。凹槽的间距，就CD而言，为 $1.6\mu\text{m}$ ，它相当于一根头发粗细的三十分之一。在一张CD上大约有 10 亿个凹槽，它们（信息）高密度地分布于整张CD上。激光（波长 $0.78\mu\text{m}$ ）在磁盘上的对焦必须十分精确，读取信号时必须控制在焦点 $\pm 1\mu\text{m}$ 的范围内。CD控制器是由三种伺服系统组成：调节盘片外径和内径转速来读取盘片上螺旋型、线密度排列凹槽的转动伺服系统、上下移动 PICKUP 来调整激光光路的焦点的变焦伺服系统和调整激光横向移动来跟踪凹槽轨道的导航伺服系统¹⁾。上述三种伺服系统产生的振动、压力（即马达转动产生的振动和变焦及导航伺服系统修正自身位置产生的反作用力）以及外力产生的振动，会影响 PICKUP 镜头，使 PICKUP 组件不能正常地发挥其性能。而阻尼胶则是可以吸收这三类作用力，保持 PICKUP 镜头稳定工作的最佳材料。

降低振动的典型技术有四种²⁾：

- (1) 防震：把传入和传出的振动降低至最小
- (2) 阻尼衰减：将具有很高阻尼性质的材料直接粘着在振动传播路径上，以使振动能量转变为热量来降低振动
- (3) 主动吸振：主动吸振阻尼器是根据振动产生部位的质量（ m ）、弹性系数（ k ）和粘性衰减系数（ c ）来设计制成的吸振装置。它可以吸收主要振动系统中产生的振动能量以降低振动
- (4) 冲击缓冲：当物体发生撞击时，为了降低作用于物体上的冲击力，缓冲吸收材料通过内部的阻尼作用将振动能量转化为热能，同时还可以降低反弹力

根据上述的描述，应用于 PICKUP 的阻尼胶必须要具有（1）和（4）的功能。

近年来，PICKUP 的构造趋向于由四根金属细线来支撑 PICKUP 的镜头，在接近金属线末端的位置使用阻尼胶。阻尼胶大致可分为固体形态（凝胶态，直接使用）和液体形态（液状涂布然后固化）。阻尼胶用的较多的是紫外线硬化性树脂。我们开发了两种类型的阻尼胶，即加热硬化型树脂和紫外线硬化型树脂，并均已上市。

对 PICKUP 制振器（actuator）来说，共振频率是一个重要的振动特性，特别是第一共振频率（ F_0 ）和最高值 Q 。（图 2）

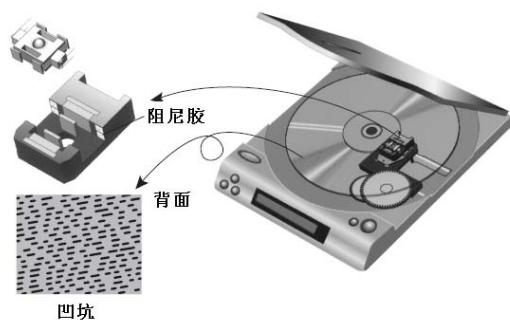


图 1：凹槽和 PICKUP 的核心部分

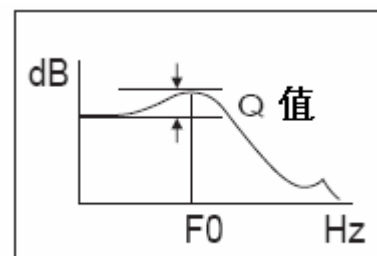


图 2：制振器的 F_0 和 Q 值

下面对第一共振频率作一下简要的说明。如图 3 所示，对一块固定好的金属板按指示箭头进行锤打（给予振动的作用力），使其振动。这样的振动可细分为（1）、（2）、（3）…等不同的阶段³⁾。图 4 为金属板振动后的响应频率曲线图。图中的①为最初的共振频率，称为第一共振频率。第一共振频率通常存在于低频率阶段，振幅大，受力学影响较大。

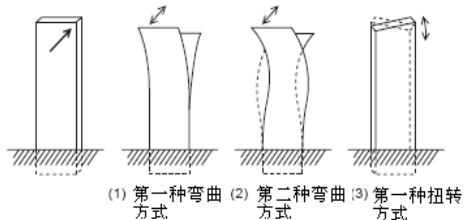


图3：金属片振动

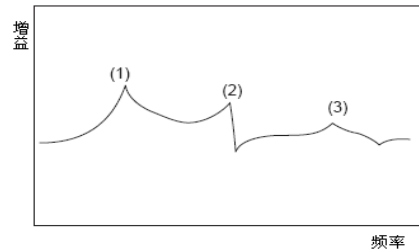
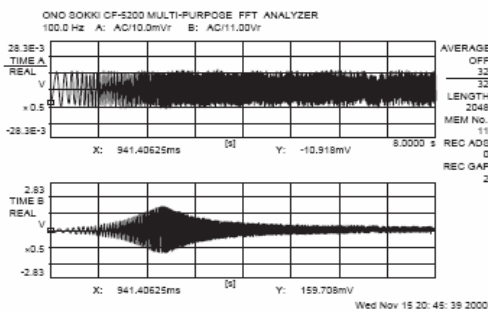


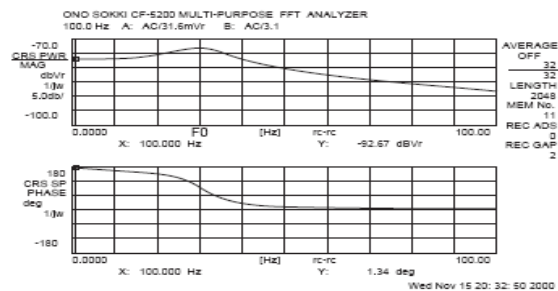
图4：响应频率曲线

同样，PICKUP 也有类似的情况。图 5 为 PICKUP 的响应频率曲线图，由上至下分别为输入信号（正弦扫描波）、输出信号、频率响应函数。频率响应函数用增益和相位来表示。增益表示信号通过 PICKUP 时振幅的变化情况，X 轴为频率，Y 轴为对应的输入输出振幅比（用 dB 表示）。相位表示输入信号和输出信号的相位的时间延迟，X 轴为频率，Y 轴为相位的角速度值。

为了避免第一共振频率的持续作用给 PICKUP 带来不良影响，必须对 PICKUP 进行设计，使其能够消除第一共振频率的产生。要求： F_0 值稳定（通常为 30~50Hz），即经过长期耐久试验后与初始值相比变化不大。Q 值，越小越容易吸收振动，为了抑制第一共振频率下产生的振幅，Q 值应被控制在 10 dB 以下（5~10 dB 比较理想）。



输入信号（上图）和输出信号（下图）



增益（上图）和相位（下图）

图5：矩力器性能

如图 1 所示，具有两个方向自由度的制振器称为双轴制振器。在双轴制振器内，金属细线的一端支撑镜头，另一端用具有单自由度的弹簧固定于制振器上。如果知道支撑体的质量（ m ）、杨式模量（ E ）、直径（ d ）和长度（ l ），可以从理论上计算得到 F_0 值。Q 值与振动的衰减比（ ζ ）成反比，而与材料的损失系数（ $\tan \delta$ ）成正比。

具体公式如下：

$$F_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{36\pi E \cdot d^4}{m \cdot l^3}} \quad \dots\dots(1)$$

$$Q \approx \frac{1}{2\zeta} \quad Q \approx \frac{1}{3.8} \frac{1}{2} \tan \delta \quad \dots\dots(2)$$

具有粘弹性的凝胶材料的振动特性取决于其材料本身的分子构造、平均分子量、极性结构和添加的充填剂的粒子的形状、直径和表面构造。当凝胶受到应力和应变时，由于凝胶分子主链的宏观布朗宁运动和支链的微观布朗宁运动，导致凝胶分子间的摩擦以及分子与充填剂之间的摩擦，从而使振动能量转变为热能，起到了吸收振动的作用。

现实中的阻尼胶产品就是根据上述理论设计而成。调整阻尼胶软硬度不仅仅是通过增加稀释剂的量来达到的，低聚物的结构、交联密度、充填剂的添加量以及粒子的形状、稀释剂的分子量和极性等也是影响阻尼性能的重要因素。

2、三键阻尼胶的特点

阻尼胶是由有机硅氧烷预聚物构成的树脂。具有振动吸收效果的材料有许多，但硅氧烷的特别之处在于，它与其他同类高分子材料相比较，在温度变化的情况下，它的弹粘性发生的变化都很小。有机硅氧烷通常被认为是一种橡胶材料，但在阻尼胶中使用的硅氧烷比较特殊，固化后呈现凝胶状，这是为了在规定的频率下能够强力吸收振动。为了更好地吸收振动，要对材料的弹性和粘性进行控制。关于弹性和粘性（材料的粘弹性）会在后面的叙述中进行详细地说明。

三键向市场提供了两种不同固化机理的树脂：加热固化型和紫外线固化型。两者都具有固化后物理性能变化非常小的特性（尤其是阻尼特性），并且固化速度都相当快。加热固化型树脂通过加成反应（用化学术语来说是硅氢加成反应）进行固化，一般分为单组分和双组分两种。单组分树脂的使用非常简便，但与双组分树脂相比，不足之处在于它必须低温保存。而双组分树脂是按照 1：1 的比例混合形成的，它在特定的温度下进行固化。固化程度参照单组分树脂，它的优点是保存时间较长，因为在未混合前它是不会发生固化的。

紫外线固化型是通过紫外线照射而引发的自由基聚合来进行固化的。在 PICKUP 的生产过程中，我们推荐客户根据自身条件来决定使用紫外线固化还是加热固化。紫外线固化需要光源，设备，适合流水线生产。如果由于设备限制，或紫外线照射机不能安装使用时，可采用加热固化型树脂。

下面对加热固化型的 TB1230H（双组分树脂）和 TB1238（单组分树脂）、紫外线固化型的 TB3168 等特点作一简介。

TB1230H、TB1238 的特点

- (1) 主成分为有机硅氧烷树脂：通过加成反应发生固化
- (2) 低温固化：与其它公司的单组分加热固化型硅氧烷树脂相比，TB1238 可以在较低的温度下快速固化

使用时须注意：

硅氢加成反应中使用高活性贵金属催化剂。此类催化剂一旦接触到硫、磷、氮化合物和有机金属盐等就会失去活性，阻碍正常固化，因此必须避免该催化剂与这些物质接触或混合。

TB3168 的特点

- (1) 主成分为紫外线固化型（UV）的有机硅氧烷树脂
有机硅氧烷树脂在低温至高温相当大的温度范围内，可以保持同样的柔软性。本产品就是在该硅氧烷树脂中导入紫外线活性基团而生成的预聚物。

- (2) 固化速度快、紫外线照射过量时产品的特性仍保持相对的稳定
凝胶是由少量交联点构成的，因反应官能团较少，其紫外线固化的速度相应的较慢。我们选用了优秀催化剂并对其构造进行了分子设计实现了快速固化。
- (3) 高耐久性
由于快速固化使得未反应成分减少加上充填剂的有效补强，使其具有优异的稳定性，在耐久性试验之后物性变化很小。
- (4) 高可靠性
本产品的每个批次都要对凝胶的流变学性质（后文有叙述）进行测定，以将其不稳定性降至最低。

使用时须注意：

树脂成分中的充填剂很容易沉淀，因此在使用前必须搅拌均匀

表1 性状和特性

商 品 名		TB1230H	TB1238	TB3168
外 观		无色透明	无色透明	白色液体
固 化 方 法		双组分加热	单组分加热	紫外线照射
粘 度	Pa · s (P)	本剂和固化剂都是 0.44 (4.4)	0.52 (5.2)	15 (150)
比 重		本剂和固化剂都是 0.97	0.97	1.01
针 入 度 ※ (固化条件)		90 (80℃×60分)	80 (100℃×60分)	100 (3kJ/m ²)
G* (30 Hz)	Pa	6100	5500	6000
tanδ (30 Hz)		1.1	1	0.9
体积电阻率	Ω · m	1.13×10 ¹³	3.3×10 ¹³	2.74×10 ¹²
表面电阻率	Ω	2.7×10 ¹⁴	9.45×10 ¹⁴	5.4×10 ¹³
介电常数 (1MHz)		2.39	2.01	2.31
介电损耗正切 (1MHz)	—	—	—	0.0032

※：0.98g 载重的 1/4 锥体

3、评价方法

前面已经对制品的特性作了叙述，下面就测定这些特性使用的3种方法进行说明。在树脂的设计过程中，必须对阻尼胶的固化度和可靠性进行测定，下面介绍这3种方法。

(1) 针入度

针入度是以 JIS K 2220 为标准进行测试的方法，是测试树脂软硬程度的常用手法。测试的方法是，将伞状锥体插入固化物体中，以毫米为单位测得锥体插入的实际深度，针入度则以测得的数值与 10 的乘积来表示。例如，锥体插入的深度为 5mm，则针入度为 50。一般我们使用的锥体按重量分为两种规格：9.38g 和 50g。

(2) 激光多普勒振动仪

该方法是使 PICKUP 系统产生振荡，利用激光多普勒振动仪来测量其频率特性（即前面

叙述的 F_0 和 Q 值)。结合FFT测得振动体的频率和速度后,通过微积分计算出其位移和加速度。

(3) 流变仪

流变仪是测试流体(未固化时)粘度和粘弹性的仪器。触变性流体的情况下,涂布时(加应力时)或静止时,随着树脂温度的变化,其流动特性会有差异。涂布方式有各种各样,如丝网印刷、自动点胶、转写等,但其必须根据涂布方法对粘度进行设计。与常规的旋转粘度计相比,流变仪可以提供更多的信息用来测定液体的流变学性能。因此,流变仪对于具有典型粘弹性的阻尼胶的测试评价也很有价值(树脂的设计、改良、检查)。

测试是给试验样品施加机械应力,然后测出其自身相应产生的应力并以时间为函数而得出的。最后这些得到的数据就可以用来表示流体的粘度和粘弹性。阻尼胶本身具有高分子材料的弹性模量(即储藏弹性模量,用 G' 表示)和吸收缓和弹性的粘性(即损失弹性模量,用 G'' 表示),它们对阻尼胶吸收振动的特性影响极大。 G' 与 G'' 的比值即损失正切(用 $\tan\delta$ 表示)在阻尼胶的设计过程中是一个具有指导作用的参数。通过上述这些参数,我们就可以测定出树脂的固化程度、其在可靠性试验前后的变化以及紫外线的最佳照射量等等。

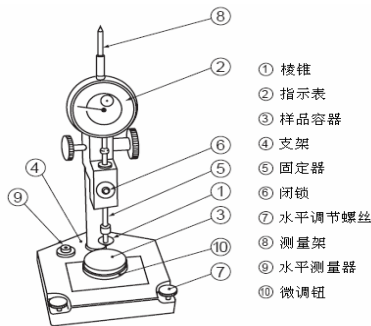


图6: 针入试验仪器

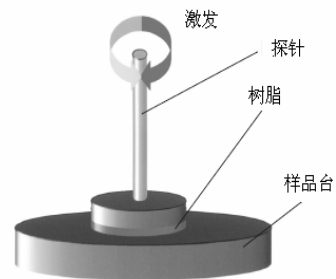
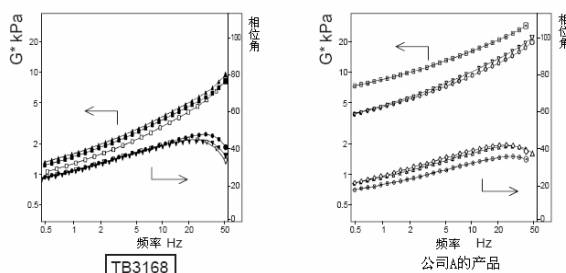


图7: 流变探测器

与使用激光多普勒振动仪测定阻尼胶特性相比,使用流变仪相对简单,同时能够得到更多的测试数据,并且便于我们更具体地了解树脂本身的特性。

流变仪的抗性测量实例(80摄氏度×1.2W)

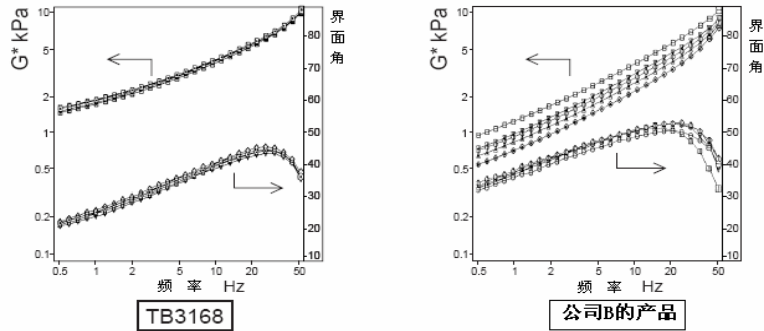


80°C × 1.2 W 前后的粘度变化

图8: 80°C 的抗性数据

图8显示的是使用流变仪测试得到的 G^* (复数弹性模量:见后文)和Phase degree(相位角 δ :见后文)在环境试验前后发生的具体数值变化。三键的TB3168与A社的同类产品相比,其在环境试验前后粘弹性发生的变化更小,稳定性更好,并且耐热性更高。这些优势使TB3168作为PICKUP的阻尼胶面市后得到市场良好的反响。

流变仪测量抗性实例 2



3, 6, 9, 15J/cm² 的紫外辐射后的粘弹性变化

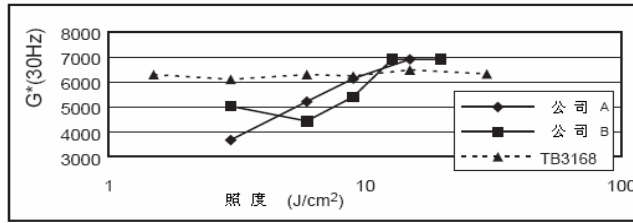


图9：紫外辐射固化程度和过辐射抗性

图 9 显示的是使用流变仪测试紫外线固化程度的具体数据，图中给出了不同紫外线照度下过一次后的粘弹性（从 3J/cm²照度到 15J/cm²照度）。TB3168 的曲线从 3J/cm²到 15J/cm²的过程中，几乎重合在一起，这表示它的流变学特性比较稳定，不受照剂量大小的影响。而 B 社产品的曲线，特别是 G* 曲线呈带状扩展开来，这表示该产品的紫外线固化速度缓慢，即使在 15J/cm²的照射程度下，流变学特性也没有达到饱和状态。

动态粘弹性的基本公式为 $\sigma = G \times \gamma$ （即：应力=复数弹性模量×应变）。为了便于理解，动态粘弹性也可以用胡克公式表示： $F = k \times \chi$ （即：力=弹性系数×位移）。流变仪是在固定应力或应变下，测得 G* 值，从而计算出 G'、G'' 等参数。G* 和 G'、G'' 之间存在的关系为： $G^* = G' + i G''$ …… (3)

将应力施加于高分子材料粘弹体上，其应答的迟延时间长度可以用相位（Phase degree = δ ）来表示， δ 的范围在 $0 \sim \pi/2$ 之间。当 $G' = G''$ 、 $\delta = \pi/4$ 、 $\tan\delta = 1$ 时，这是粘弹体的物理状态发生变化的一个分界点。当 $G' > G''$ 时，粘弹体较多呈现为固态性状；当 $G' < G''$ 时，粘弹体较多呈现为液态性状。

下面对制振器测得的 F₀、Q 值、低频灵敏度等数据和流变仪测得的数据之间存在的关系进行研讨。根据公式 (4) 我们得出，因为 F₀ 与弹性系数 k 成正比关系，所以也和代表凝胶弹性系数的 G* 成正比关系。而关于 Q 值，有可能和前面提到的 tan δ 成比例关系，但还需要日后更多的测试数据来加以进一步证实。

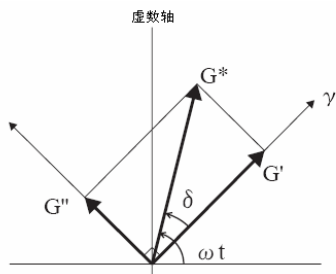


图10: G^* , G' , 和 G'' 的关系

$$F_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}} \dots\dots (4)$$

总结

上面提到的阻尼产品受到众多 PICKUP 制造商的青睐，已经成为三键的标准产品。该系列产品都具有良好的固化性和耐久性，并且通过了各厂商实施的严格的可靠性试验。今后，我们将日趋完善阻尼胶的阻尼效果，特别是提高其振动吸收的能力（即设法使降低 Q 值），为制造商开发出更适合 PICKUP 使用的阻尼胶。

此外，我们也将努力研发出适合 OPD 以外设备使用的防振、隔音、吸振的树脂新产品。

参考文献:

- 1) Heihachiro Nakajima and Hiroshi Ogawa, Handbook of Compact disk, Ohmsha Co., Ltd.
- 2) Yoshihito Osada and Kanji Kajiwara (Representative editing), Handbook of gel, NTS Co., Ltd.
- 3) Kihachiro Tanaka and Nobuyuki Okubo, Observing oscillation, Ohmsha Co., Ltd.
- 4) Hands-on seminar document: FFT analyzer, Ono Sokki Manufacturing Co., Ltd.
- 5) Lecture: Rheology, High Polymer Molecules Publishing Group, the Society of Rheology, Japan