

用于光学系统的玻璃材料大致分为3种，透过光线的棱镜或半反射镜等的光学玻璃，用于反射镜的基板玻璃，和根据折射率或波长分散被详细分类的透镜用玻璃。

光学玻璃材料

有代表性的光学玻璃材料有BK7和合成石英。它们的内部品质较高，化学性能稳定，也是比较容易采购的材料。

BK7

一般被称为 [BK7] 或 [BKseven] 的光学玻璃，自很早以前就用于透镜或棱镜。

虽然因生产商的不同也有BSC7或BSL7等型号，但是由于成分构成，光学特性，物理特性，化学特性都基本相同，[BK7] 作为一般名称被使用。

可见谱区的透过性良好，气泡或杂质较少，对光学系统有不良影响的条纹和折射率的不均匀性也降低到几乎不产生影响的水平。

除透镜或棱镜之外，也用于反射镜或分光镜基板或各种镀膜滤光片基板等的大部分光学元件中。

合成石英

仅由纯粹的二氧化硅构成的，不含其它成分的光学玻璃。与BK7相比，具有在紫外谱区和红外谱区透过率较高，热膨胀系数较小的特征。

折射率比BK7略小，但具有和BK7同等水平的内部品质，与BK7一样用于各种光学元件。尤其是在可见光之外的波长区域经常被选用。

而且，因为热膨胀系数较小，也用于高面型精度的反射镜基板或平面样板。

准分子激光用合成石英

紫外线照射到玻璃上时，有时会产生荧光。

而且，长时间不断透过紫外线时，玻璃内部会附着棕色，会产生被称为曝光变色 (Solarization) 的现象。

合成石英是不易产生荧光或曝光变色 (Solarization) 的玻璃，但当紫外线的波长变短时，有时也会产生这种现象。原因是由于玻璃中含有的杂质或玻璃内部存在分子级别的缺陷导致的。通过提高材料的纯度，改善制造方法可以减少这些现象。

通过这种特殊的制造方法生产的合成石英，用于准分子激光ArF (193nm) 或KrF (248nm) 中。(用于ArF准分子激光时请至营业部门询问。)

无水合成石英

合成石英在红外1.38 μm ，2.22 μm ，2.7 μm 的波长条件下具有特征性的吸收。

这是由于附着在二氧化硅分子上的水(OH基)分子的吸收产生的。

无水合成石英是在没有二氧化硅与水相结合的特殊环境下制造的，扩展到3.0 μm 的红外区域仍然具有较高的透过率。

但是，为了强制脱水而混有其它杂质，紫外谱区的透过率不太高。

合成石英和BK7的折射率，透过率比较表 (参考数据)

板厚: 10mm

波长 (nm)	合成石英		BK7		备注	波长 (nm)	合成石英		BK7		备注
	折射率 n	透过率 T (%)	折射率 n	透过率 T (%)			折射率 n	透过率 T (%)	折射率 n	透过率 T (%)	
165						830	1.452	94	1.510	92	近红外LD
166		0				852.1	1.452	94	1.510	92	Cs s
167		20				904	1.452	94	1.509	92	近红外LD
168		35				1014	1.450	94	1.508	92	Hg t
169		46				1064	1.449	94	1.507	92	YAG激光
170		50				1100	1.449	94	1.507	92	
173		75				1200	1.448	93	1.505	92	
175		80				1320	1.447	92	1.504	92	通信用LD
180		84				1400	1.446	87	1.503	91	
185.4		85				1500	1.445	93	1.501	91	
190		86				1550	1.444	93	1.500	91	通信用LD
193.5	1.561	87			Ar*F激光	1600	1.443	94	1.500	91	
200	1.548	88				1700	1.442	94	1.499	91	
210	1.540	90				1800	1.441	94	1.497	88	
220	1.534	91				1900	1.440	94	1.497	85	
230	1.523	91				2000	1.438	94	1.495	83	
240	1.515	92				2100	1.437	92	1.493	81	
248.4	1.510	92			Kr*F激光	2200	1.435	67	1.492	73	
266	1.499	92		0	YAG4 ω 激光	2220	1.434	56	1.492	71	
281.8	1.492	92		2	Xe*Br激光	2250	1.434	64	1.491	70	
308	1.485	92		51	Xe*Cl激光	2300	1.433	80	1.490	72	
325	1.483	92	1.545	79	He-Cd激光	2400	1.431	87	1.487	65	
337.1	1.480	93	1.541	86	N ₂ 激光	2500	1.430	73	1.485	59	
355	1.476	93	1.539	90	YAG3 ω 激光	2600	1.428	58	1.484	55	
365	1.475	93	1.536	91	Hg i	2650	1.427	20	1.483	40	
404.7	1.470	93	1.530	92	Hg h	2700	1.426	0	1.483	30	
435.8	1.467	93	1.527	92	Hg g	2720	1.426	0	1.482	23	
441.6	1.466	93	1.526	92	He-Cd激光	2750	1.425	0	1.481	19	
457.9	1.465	93	1.525	92	Ar激光	2800	1.424	0		9	
480	1.464	93	1.523	92	Cd F'	2900	1.422	40		0	
486.1	1.463	93	1.522	92	H F	3000	1.419	65			
488	1.463	93	1.522	92	Ar激光	3100	1.417	75			
514.5	1.461	93	1.520	92	Ar激光	3200	1.414	78			
532	1.461	93	1.519	92	YAG2 ω 激光	3300	1.412	81			
546.1	1.460	93	1.519	92	Hg e	3400	1.409	80			
587.6	1.458	93	1.517	92	He d	3500	1.407	70			
589.3	1.458	93	1.517	92	Na D	3600		61			
632.8	1.457	94	1.515	92	He-Ne激光	3700		50			
643.9	1.457	94	1.515	92	Cd C'	3800		25			
650	1.457	94	1.514	92	红LD	3900		21			
656.3	1.456	94	1.514	92	H C	4000		23			
670	1.456	94	1.514	92	红LD	4100		15			
694.3	1.456	94	1.513	92	RUBY激光	4200		4			
780	1.454	94	1.512	92	近红外LD	4300		0			

	BK7	合成石英
色散系数 γ_d	64.1	67.8
密度 (g/cm ³)	2.52	2.20
膨胀系数 ($\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$)	7.2	0.47
导热系数 (W $\cdot\text{m}^{-1}\text{K}^{-1}$)	1.13	1.38

*透过率中包括由于正反面反射造成的光量损失。

应用系统

光学元件·
薄膜产品

镜架

底座

手动平台

驱动装置

自动平台

光源

目录

介绍

反射镜

分光镜

偏光类产品

透镜

组合透镜

滤光片

棱镜

基板 / 窗口

光学数据

维护

玻璃材料 | Glass Materials

基板玻璃材料

普通反射镜使用的是经过高精度抛光的BK7玻璃或合成石英的基板。但是，在不要求高品质面型精度时或使用较薄的基板时，通常使用派热克斯®，白板或蓝板的平板玻璃材料。

尽管这种平板玻璃没有经过抛光，但是有的平板玻璃也具有较高平面度，有时在这种平板玻璃上直接镀膜后，作为反射镜使用。

硬质玻璃（派热克斯®）

餐具或耐热容器等使用的玻璃中，派热克斯®可以算做具有代表性的材料。

化学性质非常稳定且不易受损伤，也可以作为反射镜等的玻璃基板使用。

派热克斯®是康尼公司的注册商标。

波长 (nm)	折射率
350	1.480
400	1.478
500	1.474
600	1.472
密度 (g/cm ³)	2.23
膨胀系数 (×10 ⁻⁶ /°C)	3.25 (20~300°C)
导热系数 (W·m ⁻¹ ·K ⁻¹)	1.1
透过谱区 (μm)	0.38~2.3

B270®-Superwhite

是一般被称为白板的平板玻璃。

光学特性接近BK7，有时可以作为BK7玻璃基板的替代品使用。但是，由于没有内部品质保证，所有其用途受到限制。

B270®是SCHOTT AG公司的注册商标。

波长 (nm)	折射率
546	1.525
588	1.523
密度 (g/cm ³)	2.55
膨胀系数 (×10 ⁻⁶ /°C)	9.4 (20~300°C)
导热系数 (W·m ⁻¹ ·K ⁻¹)	1
透 域 (μm)	0.35~2.5

蓝板

被称为[碱石灰玻璃]或[蓝板]的材料是比较经济实惠的门窗用的玻璃。为了可以在低温下溶解而加入强碱，因而带有颜色，一般泛有浅绿色。除特殊情况外，几乎不用于光学元件。

透镜用玻璃

用于照相机镜头或各种光学仪器的透镜中，折射率和波长分散（色散系数）各不相同的多种玻璃材料。

只用一种玻璃材料制造透镜系统时，色差会很大，不能得到良好的光学特性。

但是，如果每个透镜使用不同的玻璃材料时，可以制造出高性能的透镜系统。

如果是激光的聚光或准直等的实验用的简单透镜系统，一种玻璃也可以达到目的，在这个产品目录中只介绍一部分透镜用的玻璃材料。

产品目录里玻璃材料使用一般的名称。符合RoHS标准的产品使用不含铅或有害物质的环保材料。

波长 (nm)	折射率		
	SK2	SF15	LaSF9
334.1	1.643	—	—
365.1	1.634	—	—
404.7	1.626	1.742	1.898
488.0	1.615	1.715	1.869
546.1	1.610	1.704	1.857
587.6	1.607	1.699	1.850
632.8	1.605	1.694	1.845
706.5	1.602	1.689	1.838
852.1	1.598	1.681	1.830
1064.0	1.595	1.675	1.823
1529.6	1.589	1.666	1.814
1970.1	1.584	1.659	1.807
2325.4	1.579	1.653	1.801
色散系数 ν_d	56.8	30.1	32.3
密度 (g/cm ³)	3.53	2.96	4.36
膨胀系数 (×10 ⁻⁶ /°C)	6.5	7.5	7.7
导热系数 (W·m ⁻¹ ·K ⁻¹)	0.802	1.049	0.874
透过谱区 (μm)	0.36~2.2	0.42~2.4	0.46~2.2

※-30°C~70°C的情况

冕玻璃和火石玻璃

消色差透镜通过组合折射率和色散较小的玻璃与折射率和色散较大的玻璃来校正色差。

色散较小（色散系数为55以上）的玻璃被称为冕玻璃，色散较大（色散系数为50以上）的玻璃被称为火石玻璃。透镜用玻璃大致分为这两种。

冕玻璃和火石玻璃都根据折射率和色散的特征被详细分类，例如有命名为冕玻璃K，硼珪冕玻璃BK，火石玻璃F，重火石玻璃SF等，被称为○○冕或××火石玻璃。据说BK7是第七个被开发的硼珪冕玻璃。

现在，一般使用SCHOTT公司的旧简称型号，不太使用复杂的玻璃名称称呼。

顺便说一下，所谓冕玻璃在熔化时粘性很高，玻璃熔浆落下到液面时溅起呈皇冠（crown）状的波浪，因此被命名为冕玻璃。

据说原来是由玻璃工匠的暗语中得来的。

火石玻璃是在原料中使用了火石（flint）而来的。

玻璃滤光片

在玻璃里添加金属离子等的具有吸收特性的材料，能够吸收特定波长区域光线的玻璃。

因此透过波长不同时，玻璃的成分也不相同，有时光学特性，化学特性，机械特性会有较大差异。虽然有时透过波长的特性相似，但是因此认为折射率等特性相似是危险的。关于各种玻璃滤光片的特性，请向营业部门问询。

应用系统

光学元件・薄膜产品

镜架

底座

手动平台

驱动装置

自动平台

光源

目录

介绍

反射镜

分光镜

偏光类产品

透镜

组合透镜

滤光片

棱镜

基板 / 窗口

光学数据

维护



低膨胀玻璃材料

在温度剧烈变化的环境下使用面型精度较高的反射镜时, 反射镜的面型精度有时会产生变化。

这是由于反射镜的玻璃基板上产生温度分布, 温度高的部分和低的部分膨胀的数量不同。因此, 需要高精度反射镜时, 基板需要使用低膨胀材料。

一般经常使用石英玻璃(热膨胀系数 $5.5 \times 10^{-7}/^{\circ}\text{C}$), 但是要求更高精度时, 使用低膨胀玻璃或被称为零膨胀玻璃的材料。

微晶玻璃[®]

是在低膨胀玻璃中混有膨胀系数为负的晶体的晶体化玻璃, 在 $0^{\circ}\text{C} \sim 50^{\circ}\text{C}$ 的温度范围内膨胀系数可以降低到 $\pm 1 \times 10^{-7}/^{\circ}\text{C}$ 。

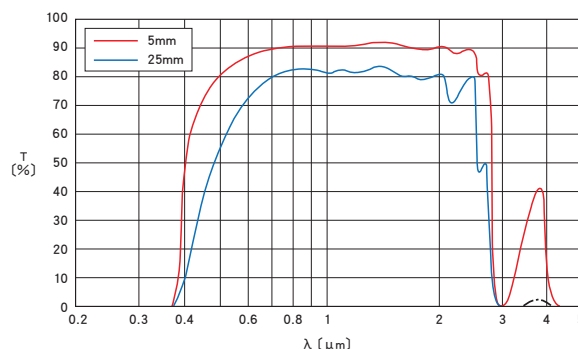
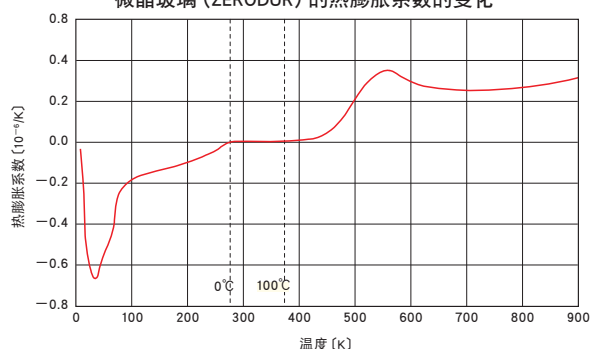
由于晶体的散射导致玻璃变得模糊不清, 玻璃中的光线将会被衰减。

由于比较容易加工, 容易抛光, 常被用于大型的反射镜中。

微晶玻璃[®]是SCHOTT AG的注册商标。

波长 (nm)	折射率
486.1	1.5491
587.6	1.5424
656.3	1.5394
透过波长谱区域	0.4~2.5 μm
表面反射	4.6% (587.6nm)
密度	2.53g/cm ³

微晶玻璃 (ZERODUR) 的热膨胀系数的变化



CLEARCERAM[®]-Z

玻璃中析出负膨胀系数微小晶体的零膨胀的晶体化玻璃。

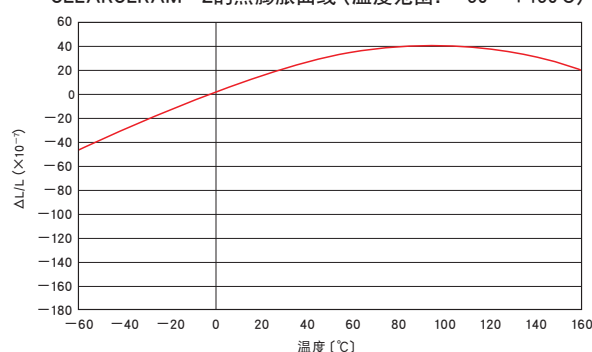
在 $0^{\circ}\text{C} \sim 50^{\circ}\text{C}$ 的温度范围内膨胀系数可以降低到 $\pm 1 \times 10^{-7}/^{\circ}\text{C}$ 。

由于玻璃内部是透明的, 可以通过光线。具有良好的导热性质, 机械性质, 化学性质, 可用于激光反射镜或样板块规。

CLEARCERAM[®]是株式会社小原的注册商标。

折射率	1.546 (587.6nm)
透过波长谱区域	0.4~2.5 μm
表面反射	4.6% (587.6nm)
密度	2.55g/cm ³

CLEARCERAM[®]-Z的热膨胀曲线(温度范围: $-60 \sim +160^{\circ}\text{C}$)



应用系统

光学元件·
薄膜产品

镜架

底座

手动平台

驱动装置

自动平台

光源

目录

介绍

反射镜

分光镜

偏光类产品

透镜

组合透镜

滤光片

棱镜

基板 / 窗口

光学数据

维护

光学用晶体材料 | Optical Crystals

晶体材料与玻璃材料相比具有某些非常优越的光学特性。

另一方面，晶体具有容易潮解或双折射特性等，不适于作为光学元件的性质。

综合利用这些特性，可以选择有用的晶体材料作为光学元件使用。

应用系统

光学元件·
薄膜产品

光学窗口材料

晶体名称	氟化钙	宝石	硒化锌	硅	锗	氟化钡	氟化锂	氟化镁
分子式	CaF ₂	Al ₂ O ₃	ZnSe	Si	Ge	BaF ₂	LiF	MgF ₂
透过波长 (μm)	0.13~8	0.23~5	0.6~20	1.2~8	2~20	0.18~12	0.12~8	0.12~7
表面反射率 (%)	3.1 (1μm)	7.6 (0.9μm)	17 (3μm)	30 (3μm)	36 (5μm)	3.6 (1μm)	2.7 (1μm)	2.5 (0.9μm)
密度 (g/cm ³)	3.18	3.99	5.27	2.33	5.33	4.89	2.64	3.17
导热系数 (W·m ⁻¹ K ⁻¹)	9.72 (36℃)	42 (25℃)	18.0 (23℃)	129.5 (40℃)	58.7 (20℃)	11.7	4	0.3
膨胀系数 (×10 ⁻⁶ /℃)	24 (20~60℃)	6.9/7.6*	7.1 (0℃)	4.2 (25℃)	5.5 (25℃)	18	37	12.8 (平行C轴)
溶解度 (g/水100g)	1.51×10 ⁻³ (20℃)	—	—	—	—	0.17 (23℃)	0.27 (20℃)	7.6×10 ⁻³ (18℃)
晶体分类	各向同性	单轴性	各向同性	各向同性	各向同性	等方性	等方性	1 性

※垂直C轴/平行C轴, 200℃

晶体材料的折射率比较表 (参考数据)

波长 (nm)	折射率					备注
	CaF ₂	Al ₂ O ₃	ZnSe	Si	Ge	
120.0	2.0500					
130.0	1.8300					
140.0	1.7400					
150.0	1.6600					
160.0	1.5800					
170.0	1.5340					
180.0	1.5180					
193.5	1.5015					Ar*F激光
200.0	1.4955					
210.0	1.4880	1.8340				
220.0	1.4811	1.8340				
230.0	1.4760	1.8340				
240.0	1.4712	1.8340				
248.4	1.4670	1.8340				Kr*F激光
266.0	1.4620	1.8340				YAG4ω激光
281.8	1.4580	1.8235				Xe*Br激光
308.0	1.4525	1.8115				Xe*Cl激光
325.0	1.4495	1.8040				He-Cd激光
337.1	1.4484	1.8010				N ₂ 激光
355.0	1.4460	1.7960				YAG3ω激光
365.0	1.4450	1.7940				Hg i
404.7	1.4415	1.7860				Hg h
435.8	1.4395	1.7813				Hg g
441.6	1.4392	1.7808				He-Cd激光
457.9	1.4383	1.7787				Ar激光
480.0	1.4373	1.7764				Cd F'
486.1	1.4370	1.7757				H F
488.0	1.4369	1.7755				Ar激光
514.5	1.4360	1.7730				Ar激光
532.0	1.4354	1.7718				YAG2ω激光
546.1	1.4350	1.7710	2.6680			Hg e
587.6	1.4339	1.7685	2.6260			He d
589.3	1.4338	1.7684	2.6250			Na D
632.8	1.4329	1.7660	2.5940			He-Ne激光
643.9	1.4327	1.7655	2.5870			Cd C'
650.0	1.4326	1.7653	2.5840			红LD
656.3	1.4325	1.7650	2.5795			H C
670.0	1.4322	1.7646	2.5720			红LD
694.3	1.4319	1.7636	2.5600			RUBY激光
780.0	1.4307	1.7603	2.5295			近红外LD
830.0	1.4302	1.7590	2.5170			近红外LD
852.1	1.4300	1.7585	2.5120			Cs s
904.0	1.4296	1.7576	2.5023			近红外LD

波长 (nm)	折射率					备注
	CaF ₂	Al ₂ O ₃	ZnSe	Si	Ge	
1014	1.4288	1.7555	2.4892			Hg t
1064	1.4285	1.7545	2.4825	3.5510	4.4100	YAG激光
1100	1.4283	1.7537	2.4792	3.5400	4.4000	
1200	1.4277	1.7520	2.4715	3.5193	4.3500	
1320	1.4270	1.7500	2.4643	3.5030	4.3050	通信用LD
1400	1.4267	1.7485	2.4609	3.4940	4.2780	
1500	1.4262	1.7470	2.4573	3.4830	4.2450	
1550	1.4260	1.7460	2.4558	3.4770	4.2300	通信用LD
1600	1.4258	1.7450	2.4544	3.4730	4.2200	
1800	1.4248	1.7418	2.4496	3.4615	4.1630	
2000	1.4239	1.7380	2.4463	3.4540	4.1200	
2200	1.4228	1.7330	2.4440	3.4490	4.0950	
2400	1.4217	1.7280	2.4420	3.4445	4.0730	
2600	1.4205	1.7220	2.4400	3.4405	4.0600	
2800	1.4192	1.7165	2.4387	3.4370	4.0511	
3000	1.4179	1.7105	2.4376	3.4350	4.0443	
3400	1.4148	1.6990	2.4355	3.4325	4.0344	
3600	1.4132	1.6910	2.4345	3.4313	4.0307	
3800	1.4115	1.6840	2.4337	3.4305	4.0276	
4000	1.4096	1.6740	2.4331	3.4295	4.0250	
4500	1.4047	1.6495	2.4313	3.4280	4.0200	
5000	1.3990	1.6240	2.4295	3.4261	4.0162	
5500	1.3930		2.4277	3.4250	4.0135	
6000	1.3856		2.4258	3.4242	4.0115	
6500	1.3775		2.4239	3.4235	4.0100	
7000	1.3693		2.4218	3.4231	4.0086	
7500	1.3600		2.4196	3.4227	4.0075	
8000	1.3498		2.4173	3.4224	4.0067	
8500	1.3385		2.4148	3.4221	4.0060	
9000	1.3268		2.4122	3.4219	4.0054	
9400	1.3164		2.4100	3.4218	4.0049	CO ₂ 激光
10000			2.4065	3.4215	4.0038	
10600			2.4026		4.0035	CO ₂ 激光
12000			2.3929		4.0029	
13000			2.3849		4.0022	
14000			2.3761		4.0018	
15000			2.3663		4.0013	
16000			2.3555		4.0009	
17000			2.3435		4.0004	
18000			2.3303		4.0000	
19000					3.9996	
20000					3.9992	

氟化钙 CaF_2

天然的氟化钙矿石被称为萤石，在个别情况下照射紫外线时会产生荧光。人工制造的氟化钙材料多用于高级照相机镜头或分光器的分光镜。光学特性从真空紫外到红外的宽带内透过率较高，比普通光学玻璃的折射率和色散小，利用其色散曲线的不同（异常部分分散）设计消色差透镜时，具有很大的优势。由于晶体构造为各向同性，所以不会产生双折射。化学性质比较稳定，潮解性比较低，比氟化锂或氟化镁更被普遍使用。

硒化锌 ZnSe

是琥珀色的晶体，在长波长区域可以透过直到 $20\mu\text{m}$ 的红外线。但是，不能透过可见光区域的蓝·绿光。经常被用于 CO_2 激光的透镜材料。在使用红色的激光作为 CO_2 激光的导光时，硒化锌可以同时透过这种导光和 CO_2 激光。在法律上被划定为烈性毒物，部分产品需要提交烈性毒物转让证。而且，使用后的 ZnSe 光学元件被禁止作为普通垃圾扔掉。不要的硒化锌产品必须返回销售公司。具有在水中是不溶解的性质，但与酸反应会产生有毒的硒化氢。由于折射率较高，因表面反射的透过损失很大，通过蒸镀防反射膜，可以得到99%以上的透过率。

锗 Ge

看上去有金属光泽但不能透过可见光线，但是可以透过 $2\sim 20\mu\text{m}$ 的宽谱区红外线。可作为热成像照相机的透镜材料使用。由于折射率较高为4，在无防反射膜的情况下使用时，由于表面反射透过损失将会很大，透过率在50%以下。

双折射材料

观测波长为 $10\mu\text{m}$ 以上的红外线时，或在 30°C 以上的环境中使用光学系统时，所有的物质都放射红外的辐射线，因此有时可能导致不能正确观测被检测物体的红外光谱。

水晶 SiO_2

没有不纯物质的石英晶体，是单轴晶体（三方晶）具有少许的双折射特性。作为水晶振荡器或CCD摄像元件的低通滤光片，其人工晶体被大量生产。利用寻常光（ n_o ）和非常光（ n_e ）的少许折射率差异可以制造波长板。

波长 (nm)	折射率	
	寻常光 (n_o)	非常光 (n_e)
404.7	1.5572	1.5667
546.1	1.5462	1.5553
589.3	1.5443	1.5534
656.3	1.5419	1.5509
透过波长谱区 (μm)	0.2~2	
密度 (g/cm^3)	2.65	
导热系数 ($\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$) (70°C)	9.3/5.4	
膨胀系数 ($\times 10^{-6}/^\circ\text{C}$) (20°C)	6.8/12.2	

理科年表

宝石 Al_2O_3

是硬度仅次于钻石的矿石，也是很难受损伤的晶体。从很久以前就经常被用于手表的窗口玻璃或齿轮的轴或轴承。虽然有宝石玻璃这样的称呼，但是结构并不是玻璃材料而是晶体结构。由于化学性非常稳定，有时也作为玻璃的替代品使用。人工制造的宝石是无色透明的，可以透过从紫外到红外的宽带。由于是单轴晶体，根据晶体的朝向会产生双折射。绝缘性良好，具有相对较高的导热性。可以作为超短脉冲激光的激励介质的钛宝石（Ti: sapphire）晶体或是紫外LED的晶体基板使用。

硅 Si

做为半导体的单晶硅，看上去有金属光泽但不能透过可见光线，其透过波长为 $2\sim 6\mu\text{m}$ 红外线。也可以作为红外检验器的滤光片使用。此外，由于导热性能良好，有时也可以作为高输出 CO_2 激光的金膜反射镜的基板使用。

注意

▶ 红外透过材料除透过，反射之外，有时需要考虑因温度变化引起的辐射光谱的影响。
观测波长为 $10\mu\text{m}$ 以上的红外线时，或在 30°C 以上的环境中使用光学系统时，所有的物质都放射红外的辐射线，因此有时可能导致不能正确观测被检测物体的红外光谱。

方解石 CaCO_3

也被称为碳酸钙矿石（calcite），是常见的天然形成的无色透明的矿石。是单轴（三方晶）晶体，具有很大的双折射特性。利用寻常光（ n_o ）和非常光（ n_e ）的折射率差，可以制作消光比性能较高的格兰汤普森偏光镜。由于很柔软，是很容易受损伤的晶体。
※由于是天然矿石，透光率的特性存在个体差异。

波长 (nm)	折射率	
	寻常光 (n_o)	非常光 (n_e)
404.7	1.6813	1.4969
546.1	1.6616	1.4879
589.3	1.6584	1.4864
656.3	1.6544	1.4846
透过波长谱区 (μm)	0.35~2.3 [※]	
密度 (g/cm^3)	2.71	
导热系数 ($\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$) (0°C)	5.39/4.51	
膨胀系数 ($\times 10^{-6}/^\circ\text{C}$) ($0\sim 80^\circ\text{C}$)	26.3/5.44	

理科年表

镀膜 | Optical Coatings

在光学实验中使用蒸镀有各种薄膜的光学元件。

很多情况下，薄膜被蒸镀在抛光的玻璃表面。光学实验中反射率，波长特性，偏光特性等的很多必要的光学性能是通过镀膜实现的。因此，为了充分发挥如反射镜等元件的性能，都是将光线直接射入镀有薄膜的一侧使用的。

镀膜大致分为金属镀膜和透明膜（电介质膜）2种。

任何一种都可以用于光学实验的反射镜，但是反射机理是完全不同的，在使用方法或特性上也存在很多不同点。

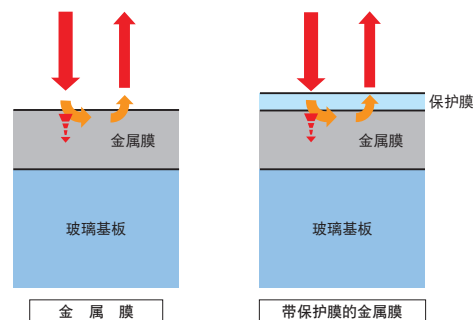
金属膜

在抛光的玻璃基板上蒸镀铝（Al）或金（Au）等金属时，会成为反射率较高的反射镜。

此外，银（Ag）铂（Pt），或铬（Cr）等金属有时也可以用于反射镜。

金属膜能够在非常宽的波长谱区进行反射，且具有反射率随入射角度变化小的特征。

由于没有反射的光线被金属薄膜吸收，金属薄膜的厚度稍微变厚时，光线将不能透过薄膜到达玻璃基板。



铝膜

铝膜在紫外到红外谱区都具有高反射率，但非常容易氧化，特别是在紫外谱区具有不稳定的特性。而且，容易受损伤，即使弄脏也不能擦拭表面。

因此，在铝膜上附加保护膜，可以保护金属膜并防止氧化或损伤。

保护膜在特定的波长谱区有保持反射率的效果，但在其它波长谱区，有时反射率会降低。

与此相反，也有只在特定的波长谱区增加反射率的特殊保护膜。

金膜

在可见光谱区具有黄色的波长特性（蓝色有吸收），但是在红外谱区的非常宽广的范围内具有较高的反射率。

由于只有金膜时不能很好地附着在玻璃表面，很容易剥落，所以一般首先蒸镀铬的底膜。

金膜柔软很容易受损伤。在特定的波长谱区使用时，可以蒸镀金膜的保护膜。

在整个红外谱区使用时，经常使用不镀有保护膜的金膜。

请绝对不要用纸或布擦拭金膜。一旦受损伤将不能恢复。

铬膜

铬膜或其合金（铬镍铁合金）可以作为部分反射镜的镀膜使用。

铬膜的反射率比铝膜和金膜低，由于吸收较多而不被用于反射镜，但在宽波长谱区由于反射率和吸收率的变化较小，可以用于反射型的中性滤光片或分光镜。

金属膜的反射率比较（参考数据）

波长 (nm)	反射率 (45度入射) [%]					波长 (nm)	反射率 (45度入射) [%]			波长 (nm)	反射率 [%]
	Al+MgF ₂	Al+SiO ₂	UV增强Al	Al	Au		Al+SiO ₂	Al	Au		
200	54	—	91	75	24	1250	91	95	98	3000	99
250	76	43	93	89	28	1300	92	96	98	4000	99
300	89	87	90	90	31	1350	92	96	98	5000	99
350	84	87	87	91	34	1400	93	96	99	10000	99
400	88	82	85	91	37	1450	93	96	99		
450	90	87	85	91	41	1500	94	96	99		
500	92	90	85	90	52	1550	94	96	99		
550	91	91	85	90	81	1600	94	96	99		
600	91	91	85	90	91	1650	94	96	99		
650	89	90	85	89	95	1700	95	96	99		
700	88	88	83	88	96	1750	95	96	99		
750	84	85	82	87	97	1800	95	96	99		
800	81	83	81	86	97	1850	95	96	99		
850	82	82	81	86	97	1900	95	96	99		
900	86	84	84	89	98	1950	95	97	99		
950	88	86	88	91	98	2000	95	97	99		
1000	90	87	89	93	98	2100	96	97	99		
1050	91	89	90	94	98	2200	96	96	99		
1100	92	89	91	94	98	2300	96	97	99		
1150	93	90	91	95	98	2400	97	96	99		
1200	93	91	92	95	98	2500	97	97	99		

电介质膜

电介质材料无色透明, 没有像金属那样大的反射或吸收。

如果选择适当的材质和膜厚, 在玻璃基板, 薄膜和空气的分界面会产生干涉效果, 可以得到特定的透过率·反射率的波长特性。

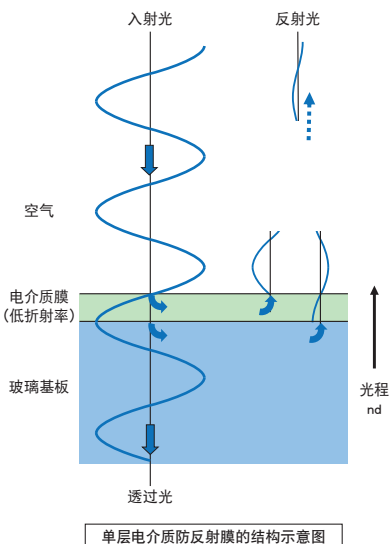
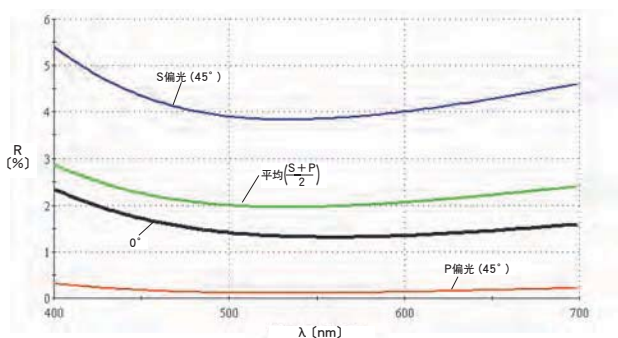
单层防反射膜

光线射入玻璃基板时, 会产生4%左右的反射而造成透过率的损失。但是, 通过在玻璃基板上蒸镀比玻璃的折射率更低的电介质膜, 可以改变玻璃基板的反射率。

调节电介质膜的厚度使其光程 (折射率 n ×膜厚 d) 为 $\lambda/4$ 时, 可以相互抵消玻璃基板和电介质膜, 电介质膜和空气的分界面的反射, 将反射率降到最低。

但是, 由于折射率受到薄膜材料的限制, 所以反射率不能完全为零。而且, 由于受玻璃基板折射率的限制, 所以并不是所有玻璃基板都能得到防反射效果。

单层防反射膜 (SLAR) 反射率的波长特性

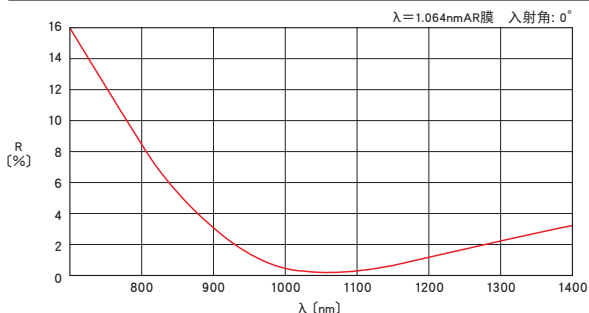


多层防反射膜

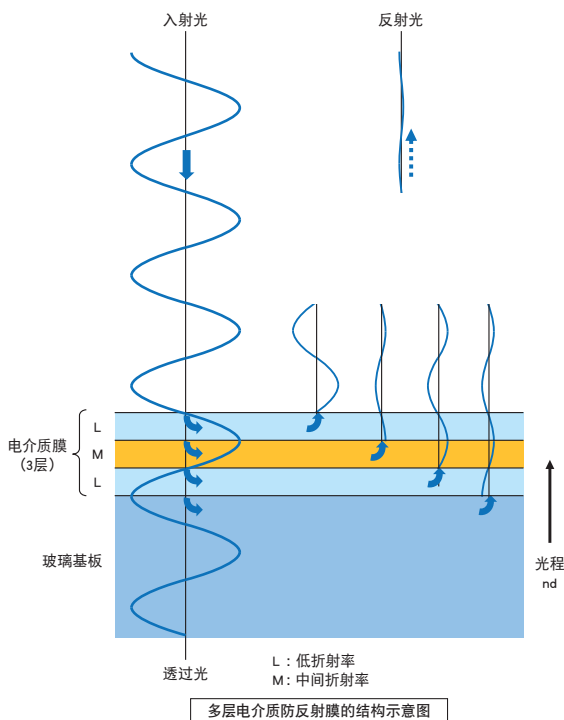
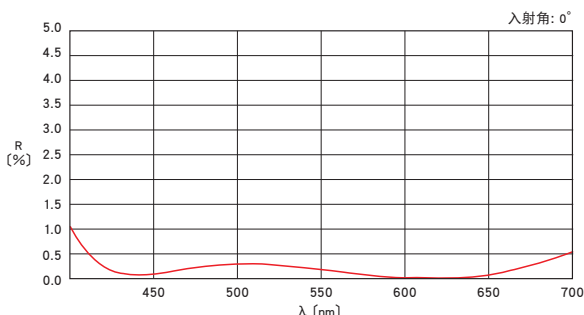
由于单层膜材料的选择范围很小, 而且玻璃基板会残留一些反射。因此, 通过重叠蒸镀几层薄膜, 即使使用很少的薄膜材料也可以得到最佳的防反射效果。

此外, 可以改变薄膜的构成, 制造出降低特定波长的反射率的窄带防反射膜 (NMAR), 或制造出在宽波长谱区降低反射率的宽带防反射膜 (MLAR)。

窄带防反射膜 (NMAR) 反射率的波长特性



宽带防反射膜 (BMAR) 反射率的波长特性



镀膜 | Optical Coatings

应用系统

光学元件·
薄膜产品

镜架

底座

手动平台

驱动装置

自动平台

光源

目录

介绍

反射镜

分光镜

偏光类产品

透镜

组合透镜

滤光片

棱镜

基板 / 窗口

光学数据

维护

多层反射膜

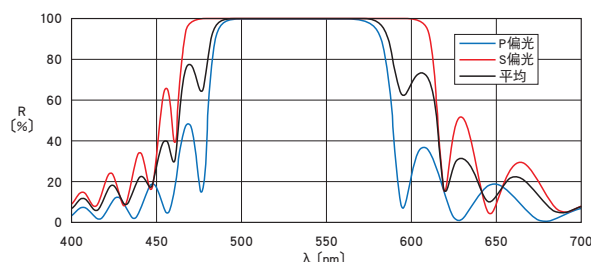
在玻璃基板上交替重复地蒸镀折射率较高的电介质膜和折射率较低的电介质膜时,可以得到反射率非常高的反射膜。

高折射率和低折射率的分界面会产生很少的反射。

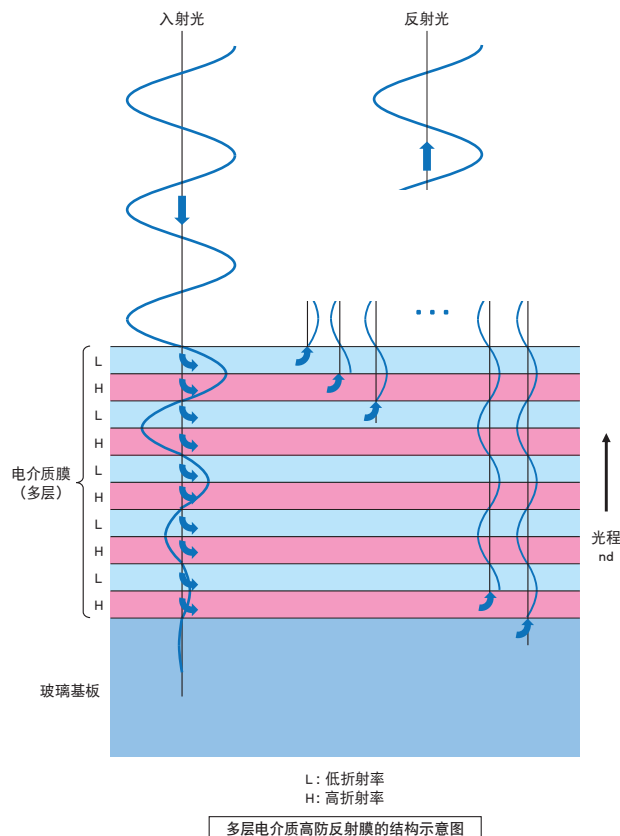
由于每层的电介质膜的厚度都调节为 $\lambda/4$ 的光程(折射率 $n \times$ 膜厚 d),在各层上反射的光线的相位相同,反射将相互合成加强。相反,经过多重反射向透过方向前进的光线则相互抵消变为零。

如果电介质膜的层数足够多,入射光线会逐渐减弱,变得几乎不能透过。衰减的光线将全部转为反射光。由于电解质膜没有吸收,入射的光线将没有损失,成为100%的反射光。

多层电介质膜(DML)的反射率的波长特性



通过改变多层膜的构造,可以附加某些特殊的效果。例如扩宽波长区域,相反地使透过谱区变得非常窄,使其它的波长谱区的光线不能透过,设定反射率为任意值等,可以根据需要设计各种薄膜。



多层电介质高反射膜的结构示意图

特殊薄膜

多层电介质膜可以产生很多波长特性,用于各种光学仪器。

另一方面,在最前沿的研究中,为了得到更好的光学性能,有的非常特殊的多层电介质膜具有超过100层的薄膜构造。

超宽带反射镜

如果是可见光谱区,几十层的电介质膜即可达到反射效果。但是如果波长谱区包含从紫外到红外区域时,需要将紫外,可见光,红外谱区的3个以上的多层膜组合在一起。

因此,薄膜层数会变得极多,在制造方面也相应地需要更加精湛的技术。

飞秒激光用低分散膜

将飞秒激光射入宽谱区的多层电介质膜时,透过薄膜的光程因波长的不同而不同,因此产生色散。

飞秒激光用低分散膜的设计要求在薄膜中的光程不随波长的不同而改变,将色散降低到极小。而且,需要采用可以承受高能量的薄膜构造。

强激光用膜

将高能量脉冲激光射入多层电介质膜时,薄膜的分界面上能量会变得极大,通常的薄膜会由于激光能量而被破坏。

因此,需要重新考虑薄膜结构和薄膜材料,开发不易受到激光损伤的特殊的多层膜。

复合膜

在多层电介质膜中加入金属膜,可以制造出前所未有的特性光学的元件。因为是将多层电介质膜和金属膜混合在一起,所以被称为复合膜。这种薄膜被用于宽带无偏光分光镜和带通滤光片等。遗憾的是,由于金属存在吸收,所以会产生少量的光量损失。



多层膜的特性

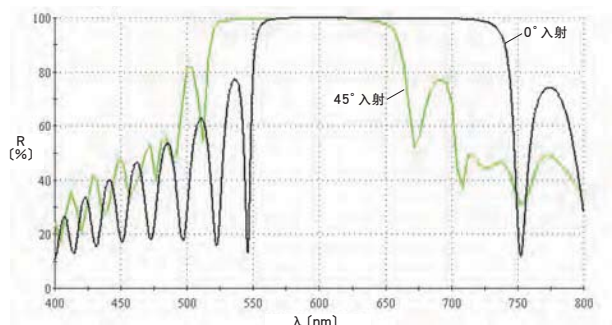
多层膜可以具有任意的反射率·透过率的波长特性,但另一方面也受到很多制约。

入射角度的依赖性

在改变光线的入射角度时,多层膜的透过率·反射率的波长特性会产生变化。

多层膜的各层薄膜的相对厚度,在射入倾斜光线时,光线通过薄膜中的光程会变长。因此,入射角度为0度(垂直)时,透过率·反射率的波长特性在最长波长一侧,入射角度变大时,向较短波长一侧移动。

这种现象被称为多层膜的蓝色移动。



温度的依赖性

电介质膜的厚度和薄膜材料的折射率随温度的不同而变化,因此多层膜的透过率·反射率的波长特性也随之变化。由于温度依赖性随镀膜的制作方法,需要在薄膜的设计阶段给予考虑。请事先通知使用环境和温度变动范围。

耐候性

多层电介质膜根据使用环境的不同,其光学特性有时会随着时间而产生变化。

虽然有不同的制造方法和薄膜构成,但长时间暴露在高温高湿的环境下时,薄膜都会膨胀,波长特性也会产生一些变化。

像分色反射镜或带通滤光片那样的透过率·反射率随波长不同变化剧烈的产品,特别需要注意。

光学元件在实验室或装置中使用时,要保持常温和低湿度状态。不使用时,请保管在电子干燥箱[®]等干燥的保存箱中。

偏光特性

光学元件被用于0度(垂直射入)之外的入射角时,会产生偏光特性。

偏光特性有P偏光与S偏光的透过率·反射率的变化特性,和P偏光与S偏光的相位差的变化特性的2个特性。

相位差特性很难控制,在本产品目录的镀膜产品中不予保证。例如,45度方向的直线偏光射入镀膜产品时,出射光的偏光状态不再是45度的直线偏光,而是椭圆偏光。但是,不将P偏光和S偏光分开时,考虑出射光的P偏光和S偏光的光量平均值时,其透过率·反射率的特性不会有特别影响。

以45度入射角度将光线射入无镀膜的玻璃基板时,P偏光和S偏光的反射率是不同的。

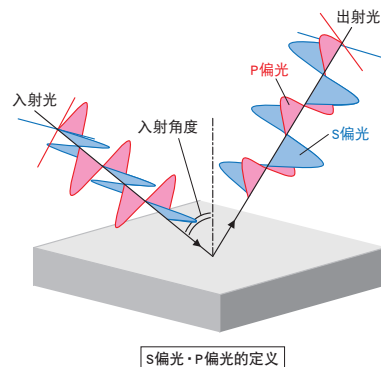
镀膜的每个薄膜界面也一样,P偏光和S偏光的反射率存在差异,对于多层膜,由于P偏光和S偏光透过率和反射率存在很大差异,其波长特性也会受到影响。

因此,产品目录的透过率·反射率的波长特性曲线图中显示有P偏光和S偏光的特性。

即便图中未显示P偏光,S偏光的特性曲线的镀膜光学元件也存在偏光特性,这时特性曲线图显示的是P偏光和S偏光的平均值。

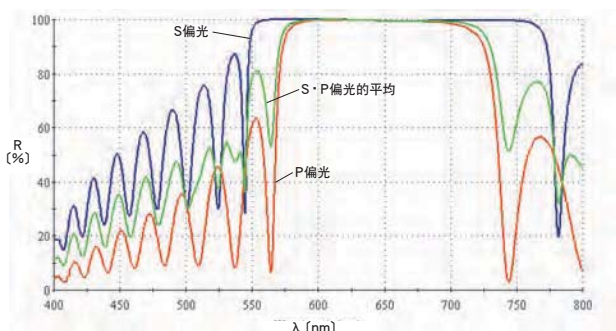
由于激光之外的大部分光源为非偏光,因此可以使用P偏光和S偏光平均值的曲线图。但是使用激光时,由于是直线偏光,取P偏光值还是取S偏光值,或是取两者间的值需要根据偏光方向来决定。

特别是像分光反射镜那样的透过区域和反射区域在较窄的波长谱区中发生转换的镀膜元件,S偏光和P偏光的从透过到反射的转换波长是不同的。

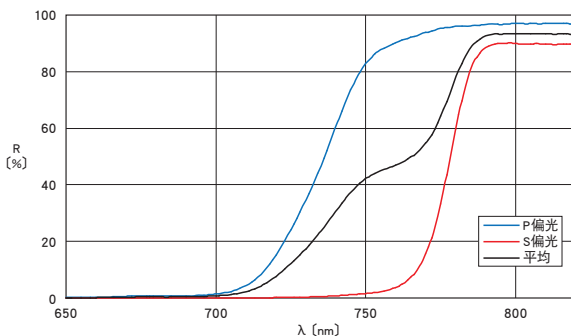


S偏光·P偏光的定义

多层电介质膜反射镜的反射率的波长特性



分色反射镜的反射率的波长特性



激光损伤阈值

用于脉冲激光谐振腔或激光加工装置的光学元件,要求即使射入能量非常高的光线,也要保持元件不至破损的特性。这时的定量化的能量数值被称为激光损伤阈值。用于需要选择用于高能量激光装置的光学元件或设计光学系统时。

激光损伤阈值的评估方法使用ISO21254国际标准中规定的S-on-1测试。

S-on-1

使用可以调节能量的脉冲激光,和能够以适当的能量密度照射检测对象的装置。

为了可以改变照射位置将检测对象装载在XY轴位移台上,每次照射结束后改变位置。重复发射脉冲激光,在同一部位照射S次激光脉冲。

接着改变位置再次以相同能量照射S次。如此重复地使用相同能量照射检测对象的10个位置。

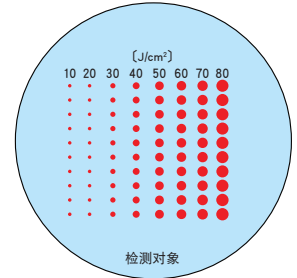
然后改变激光能量,同样地在10处进行照射S次。在激光能量可以调节的范围内重复这个操作。

使用150倍的显微镜观察检测对象的薄膜有无损伤。

相对能量密度,在图表中表示损伤的出现率,从出现率曲线求出临界(出现率为0%和0%以上的分界线)的能量密度。将这个数值定为激光损伤阈值。

※西格玛光机将1回的照射脉冲数量S定为200次,作为200 on 1测试评价。

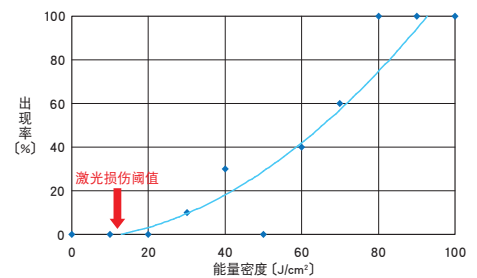
照射回数 and 能量密度的照射位置关系



关于激光损伤阈值的注意点

- 激光损伤阈值随所使用的激光波长,脉冲宽,和重复频率的不同而不同。请确认所使用的激光和测试条件是否一致。
- 脉冲激光有单模式(TEM₀₀)激光和多模式激光。激光损伤阈值使用TEM₀₀激光进行测试。多模式激光随激光的模式不同,有时可能形成局部能量密度很高的部位(峰值)。对于产生峰值的多模式激光,即使射入低于激光损伤阈值的激光,有时也会损伤光学元件。使用多模式激光时,如果光学元件频繁损伤,有可能是多模式谐振器的光学调节产生了问题。这种情况时,请确认模式或者联系激光生产商。
- 光学元件表面有灰尘或有油污时,即使有时是低能量密度下,光学元件也会受到损伤。使用高能量激光时,请务必清洁光学元件,在洁净的状态下使用。
- 如果不在同一测试条件下评价激光损伤阈值的数值,将不能进行比较。由于每个生产商的测试条件都不同,仅凭产品目录的激光损伤阈值的数值不能判定光学元件的优劣。西格玛光机为了使客户能在安全条件下使用产品,采用了严格的测试条件。如果能够在低于激光损伤阈值的条件下使用这些产品,和用于普通能量条件时相比,发生变质或历时变化的状况将不会更坏。

激光损伤的出现率随能量密度的变化



特订镀膜

除产品目录的产品之外,也承接设计·制造满足客户要求的镀膜元件。从研究开发或用于试造的1个样品,到用于机器量产的大批量生产,承接任何数量的委托生产。

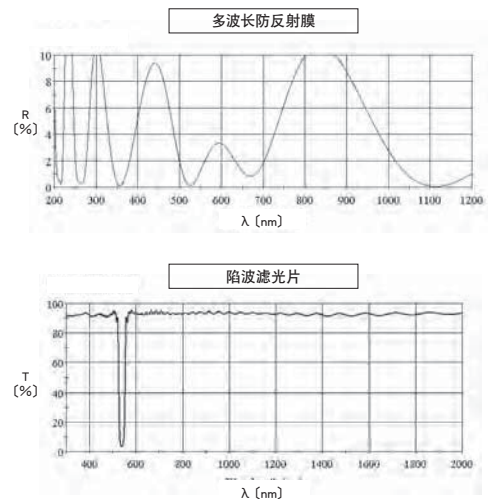
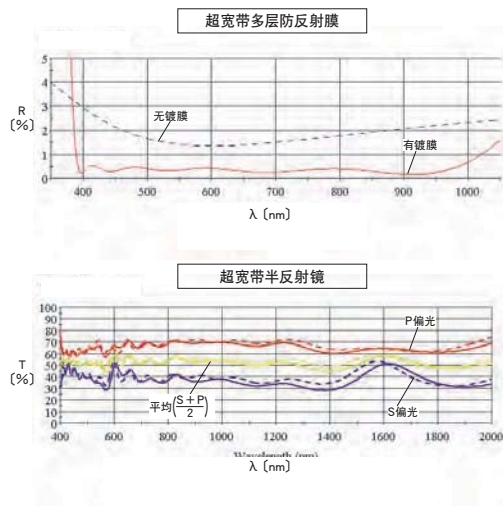
此外,无论是使用标准玻璃基板镀膜,还是在特订制造的基板上的镀膜,或者是在提供的材料上镀膜,接受任何形式的合作方式,请安心联系营业部门。

使用产品目录的客户询问单,只要填入必要事项,我们便能顺利地确认镀膜的技术指标。

根据技术指标内容的不同,特订薄膜有时会需要一定的制作时间。详细的交货期请至营业部门询问。

特订镀膜的例子

T: 透过率 R: 反射率



从透过率·反射率的波长特性信息来决定镀膜的薄膜结构时，需要薄膜计算软件。
薄膜计算软件除薄膜的设计之外，也可以用于模拟改变实验条件时的镀膜的光学特性的变化。
Essential Macleod虽然是专业用的工具，但是初学者也可以使用这个具有直觉操作特征的薄膜计算软件。

- [Essential Macleod] 是关于光学薄膜的 [THIN-FILM OPTICAL FILTERS (光学薄膜)] 等著作的著名作者Angus Macleod开发的Windows®专用的光学薄膜设计软件。
- 具有丰富的光学薄膜特性的模拟，自动化计算，镀膜材料的数据库等光学薄膜设计中需要的高水准的性能。



注意

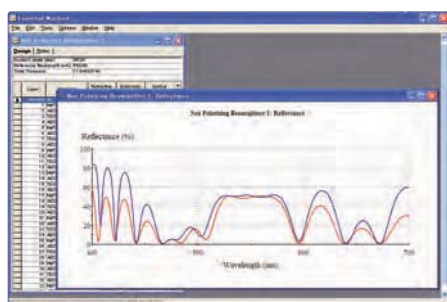
- ▶ 与其它软件的相互作用有时可能会导致不能运行。推荐使用专用的PC机。
- ▶ 价格有时会随汇率，性能的升级等而产生变动。请另外询问。

技术指标

型号	EMS-1
----	-------

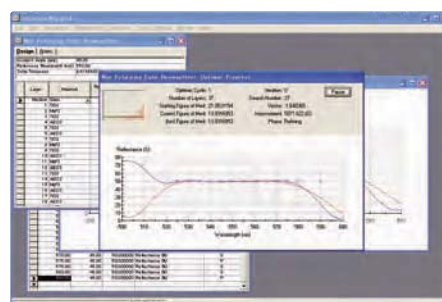
(开发商)
Thin Film Center Inc.
2745 East Via Rotonda, Tucson, AZ 85716-5227
TEL: +1-520-322-6171 FAX: +1-520-325-8721
※Essential Macleod是Thin Film Center Inc. 公司的标志和注册商标。
※Windows®是美国微软公司的注册商标。

光学薄膜特性的模拟



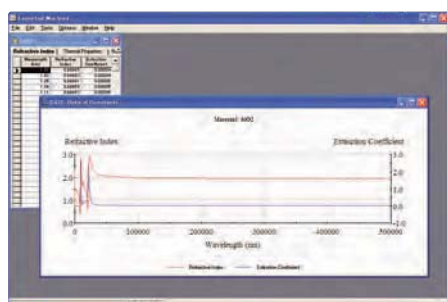
- 薄膜的透过率·反射率的模拟
- 透过光·反射光的相位变化的模拟
- 薄膜厚度的误差影响的模拟
- 群速度分散等的模拟

优化的自动计算



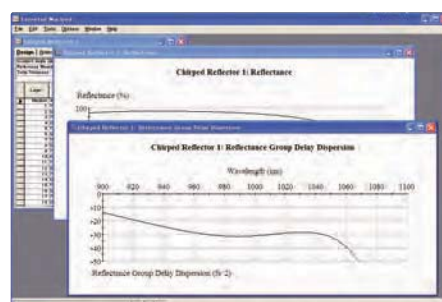
- 透过率·反射率
- P·S偏光的相位变化
- 透过光·反射光的相位变化

镀膜材料的数据库



- 主要镀膜材料的光学常数 (n·k) 的数据库
- 以多种情报为基础的数据库管理
- 从分光特性的实际测量值计算光学常数
- 镀膜材料的色散数据的制作

其他机能



- 群速度分散的计算
- 薄膜电场分布解析
- 薄膜和玻璃基板组合时的透过率计算

动作环境

- IBM-PC及其兼容机
- MS-Windows® 操作系统
- 硬盘的可用容量20MB以上

服务

- 从购买之日起1年内支持免费版本升级。超过1年以上时，如果缔结会员合同，则可以继续支持免费版本升级。

选购件

- 追加授权
(可用在另外一台电脑上运行。)
- 会员合同
(购买1年后，还可以再享受一年免费的服务。)

特订透镜设计 | Optical Design

西格玛光机的光学产品中使用的透镜系统是本公司独自设计和制造的产品。

发挥本公司的设计能力,也能够设计满足客户的要求的透镜。从单透镜的设计到用于人造卫星的光学系统的设计,可以满足广泛的客户需求。不仅局限于透镜设计,公司内部也运营有透镜抛光,镀膜,镜筒制造,光学调整,电路制造,驱动机构制造,软件制作等一整套的制造系统。

- 可以灵活满足特订透镜设计的要求,从试造或实验用的1件到大量产品的设计。
- 但是,前提是让我们同时制造这些透镜或光学装置,不接受仅是透镜设计的委托。
- 特订透镜设计的委托请使用[透镜设计客户询问单]。

代表性光学产品的透镜设计

消色差透镜



是用于望远镜或激光准直仪的2片透镜胶合后的透镜组合。

可以根据使用波长,焦距和有效直径参数设计出最佳性能的透镜。也可以设计2个波长的消色差透镜或可见光之外的波长谱区的消色差透镜。

聚光透镜



激光加工用聚光透镜要求接近理论极限的聚光性能。为了满足这个要求,设计需要使用2~3枚透镜来消除球差。

可以根据使用波长,焦距和聚光光斑直径参数设计出最佳性能的透镜。也可以特订设计需要特殊玻璃材料的紫外聚光透镜,和同时使用导光及不可见激光的消色差的聚光透镜等。

物镜



虽然是用于普通显微镜的物镜,但是为了能够同时用于高输出激光的加工,采用了不使用粘接剂,和不使激光过分集中在透镜内的透镜设计。

由于一般需要观察加工位置,所以校正了可见光和激光波长的色差。尽可能地延长工作距离也是要考虑的一个重要因素。而且,在需要透过薄玻璃基板实现加工性能时,或使用几个激光波长进行加工时,还需要特殊的光学设计。

fθ透镜



是用于扫描振镜的特殊透镜,用于激光扫描图形。

具有减少了扫描画形的变形,消除了中心和外侧的线条宽度变化的特点。

fθ透镜的设计随所使用的扫描振镜的技术指标,扫描图形的大小或加工物体的形状(凹凸或高低的差异)的不同而改变。

光束扩束器



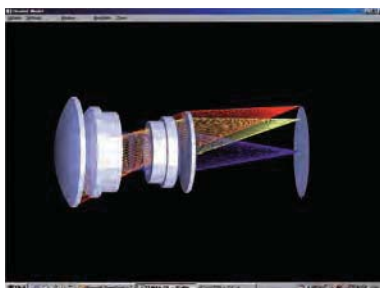
是将纤细的激光光束扩大转换成大口径准直光束的光学系统。

由于实验中常用的光束扩束器已形成标准产品,不再需要设计,但是制造很大口径的准直光束或制造多波长激光的准直光束时,仍然需要透镜设计。

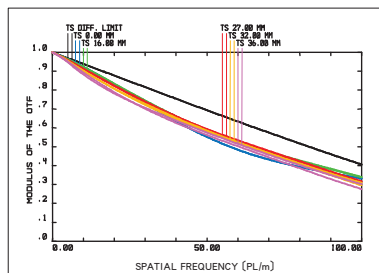
其他

进行照明光学系统,图像处理传感器用的高精度照相机透镜,和变焦的观察镜筒等各种光学机器的透镜设计。

光学计算·评价

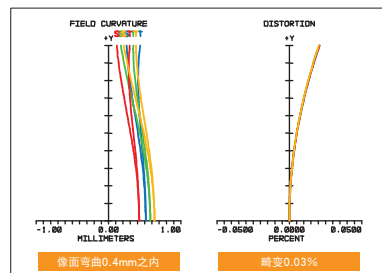


MTF模拟



黑色:理论衍射极限 蓝色:像高0mm 绿色:像高16mm
红色:像高27mm 橙色:像高32mm 桃红色:像高36mm

像面弯曲·畸变

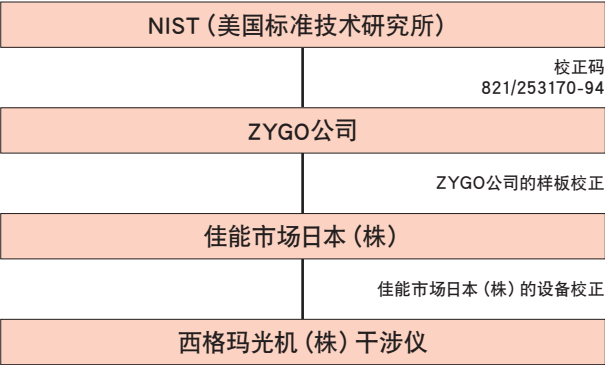


绿色:546nm(标准波长) 蓝色:405nm 红色:436nm 黄色:579nm

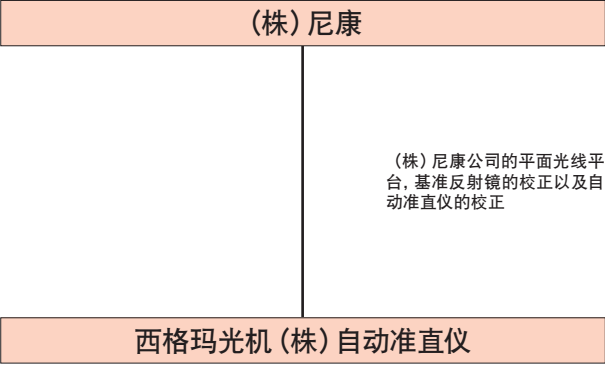
西格玛光机提供的产品在检查中使用具有追溯性的测量仪器。
这些测量仪器通过生产商或校正机关的特定基准进行校正，始终保持着良好的精度。
产品的质量检查单中要求检查设备的校正证明书时，请在报价时给予指示。
(带校正证明书的质量检查单是有偿的。)

测量仪器	生产商	检查项目
干涉仪	ZYGO公司	反射波面精度，透过波面精度
粗糙度仪	ZYGO公司	表面粗糙度
自动准直仪	(株) 尼康	平行度
分光光度计	(株) 日立制造所	透过率

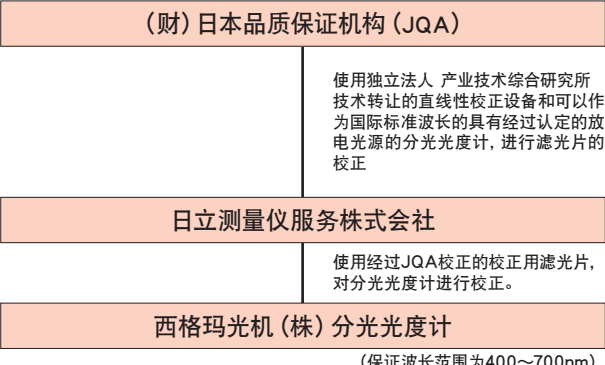
干涉仪的追溯性体系表



自动准直仪的追溯性体系表



分光光度计的追溯性体系表



应用系统

光学元件・薄膜产品

镜架

底座

手动平台

驱动装置

自动平台

光源

目录

介绍

反射镜

分光镜

偏光类产品

透镜

组合透镜

滤光片

棱镜

基板 / 窗口

光学数据

维护

主要的光学公式和关系式 | Optical Formula

应用系统

光学元件·
薄膜产品

镜架

底座

手动平台

驱动装置

自动平台

光源

目录

介绍

反射镜

分光镜

偏光类产品

透镜

组合透镜

滤光片

棱镜

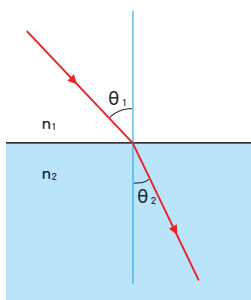
基板/窗口

光学数据

维护

斯奈尔定律

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2$$

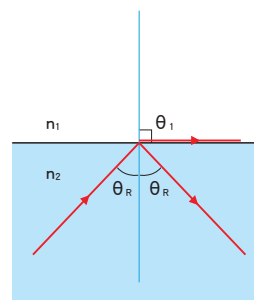


临界角 $\theta_R = \theta_2$

$$\theta_1 = 90^\circ \quad n_1 = 1$$

$$\sin \theta_R = \frac{1}{n_2}$$

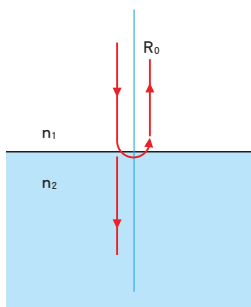
$$\text{全反射条件} \quad \theta_R < \theta_2$$



反射率(垂直入射) R_0

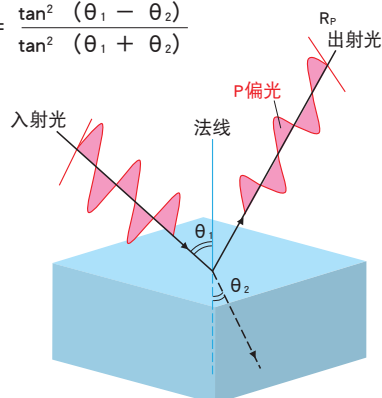
$$\theta_1 = \theta_2 = 0 \quad n_1 = 1$$

$$R_0 = \left(\frac{n_2 - 1}{n_2 + 1} \right)^2$$



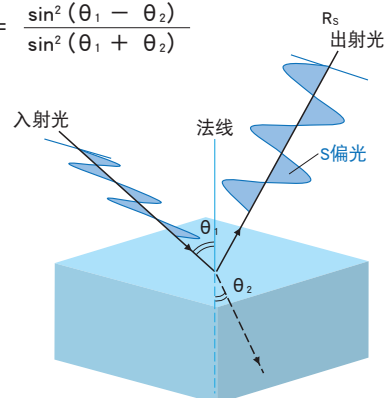
反射率(P偏光) R_P

$$R_P = \frac{\tan^2 (\theta_1 - \theta_2)}{\tan^2 (\theta_1 + \theta_2)}$$



反射率(S偏光) R_S

$$R_S = \frac{\sin^2 (\theta_1 - \theta_2)}{\sin^2 (\theta_1 + \theta_2)}$$



布鲁斯特角 $\theta_B = \theta_1$

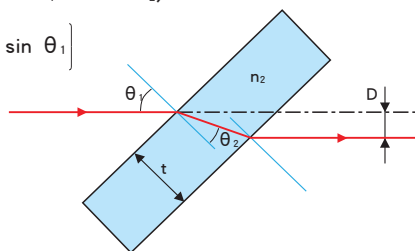
$$R_P = 0$$

$$\tan \theta_B = n_2$$

平行平板的光束移动 D

$$D = t \cos \theta_1 (\tan \theta_1 - \tan \theta_2)$$

$$\theta_2 = \sin^{-1} \left[\frac{1}{n_2} \sin \theta_1 \right]$$

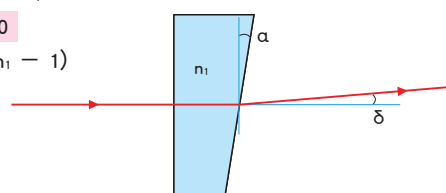


楔形板的光束偏向角 δ

$$\sin (\alpha + \delta) = n_1 \sin \alpha$$

$$\alpha \doteq 0$$

$$\delta \doteq \alpha (n_1 - 1)$$



光学密度 OD

$$OD = \log \left(\frac{I_1}{I_2} \right) = -\log (T)$$

透射率: T
入射光量: I_1
出射光量: I_2

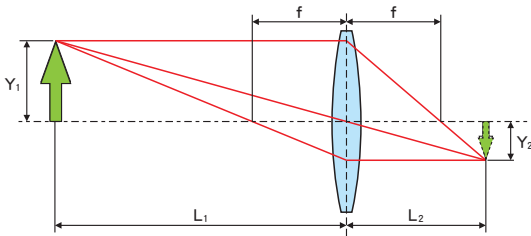
透镜的公式

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2}$$

焦距: f

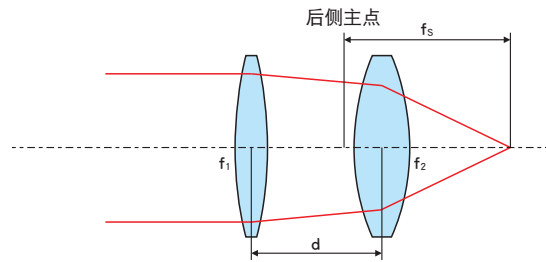
成像倍率

$$B = \frac{Y_2}{Y_1} = \frac{L_2}{L_1}$$

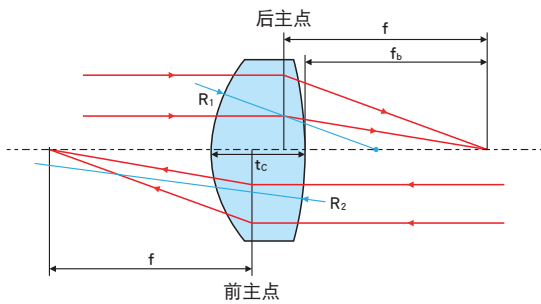


透镜的合成焦距

$$f_s = \frac{f_1 \cdot f_2}{f_1 + f_2 - d}$$



单透镜的焦距



厚透镜的焦距

双凸透镜的条件 $R_1 > 0$ $R_2 < 0$

$$\frac{1}{f} = (n-1) \left\{ \frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} + \frac{t_c (n-1)}{R_1 R_2 n} \right\}$$

$$f_b = f \left\{ 1 - \frac{t_c (n-1)}{n R_1} \right\}$$

双凸透镜的焦距

双凸对称透镜的条件 $R_1 = -R_2 = R$

$$f = \frac{nR^2}{(n-1) \{2nR - t_c (n-1)\}}$$

$$f_b = f \left\{ 1 - \frac{t_c (n-1)}{nR} \right\}$$

球形透镜的焦距

球形透镜的条件 $2R = t_c$

$$f = \frac{nR}{2(n-1)}$$

$$f_b = f - R$$

平凸透镜的焦距

平凸透镜的条件 $R_1 > 0$ $R_2 = \infty$

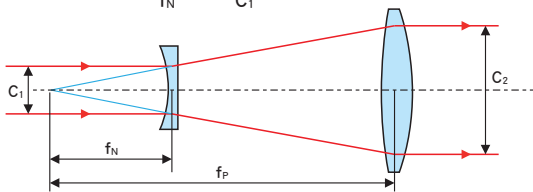
$$f = \frac{R_1}{n-1}$$

$$f_b = f - \frac{t_c}{n}$$

光束扩束器的倍率 B

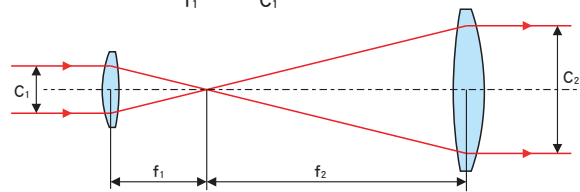
伽利略式

$$B = \frac{f_P}{f_N} = \frac{C_2}{C_1}$$



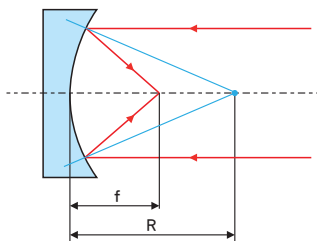
开普勒式

$$B = \frac{f_2}{f_1} = \frac{C_2}{C_1}$$



凹面镜的焦点

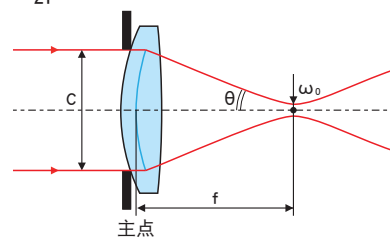
$$f = \frac{1}{2} R$$



激光聚光公式

$$NA = \sin \theta = \frac{C}{2f}$$

$$F_{No} = \frac{f}{C}$$

光束的束腰 $1/e^2$

$$\omega_0 = \frac{\lambda}{\pi \cdot NA}$$

显微镜分辨率

$$\delta = \frac{0.61\lambda}{NA}$$

外形尺寸公差・倒角标准 | Company Standard

应用系统

光学元件・薄膜产品

镜架

底座

手动平台

驱动装置

自动平台

光源

目录

介绍

反射镜

分光镜

偏光类产品

透镜

组合透镜

滤光片

棱镜

基板 / 窗口

光学数据

维护

平面基板
平行平面基板
楔形基板
凹面反射镜基板
(包括标准镀膜产品)

外形尺寸公差

(位: mm)

圆形	尺寸公差	厚度公差
φ50以下	+0~-0.1	±0.1 (凹面反射镜, 凹面反射镜基板为±0.2)
φ51~150	+0~-0.2	±0.2
φ151~200	+0~-0.3	±0.3
φ201~300	+0~-0.5	±0.5

※但是凹面反射镜, 凹面反射镜基板的标准品的中心厚度公差为±0.2

正方形, 矩形 (边长)	尺寸公差	厚度公差
50以下	+0~-0.1	±0.1 (凹面反射镜, 凹面反射镜基板为±0.2)
51~150	+0~-0.2	±0.2
151~200	+0~-0.3	±0.3
201~300	+0~-0.5	±0.5

※但是50×60的外形公差为+0~-0.2

倒角量

(位: mm)

板厚	外形或边长	倒角
1.0~3.0	大小, 形状不限	C0.3以下
3.1~5.0	40以下	C0.3以下
	41~70	C0.4以下
	71~100	C0.5以下
	101~150	C0.2~0.6
	151~200	C0.3~0.7
5.1以上	201~300	C0.4~0.8
	40以下	C0.3以下
	41~70	C0.4以下
	71~100	C0.5以下
	101~150	C0.3~0.7
	151~200	C0.4~0.8
	201~300	C0.5~1

注1 凹面反射镜基板 (包括凹面反射镜) 的倒角以球面单透镜为基准。

注2 有的倒角是防止崩边的保护性倒角, 倒角量有时会发生变化。

球面单透镜
柱面透镜

外形尺寸公差

(位: mm)

大小	尺寸公差
60以下	+0~-0.1
61~80	+0~-0.15
81~100	+0~-0.2
101~200	+0~-0.25
201~300	+0~-0.3

倒角量

(位: mm)

	外径	倒角
凸面一侧	50以下	C0.3以下
	51~100	C0.4以下
	101~150	C0.5以下
	151~200	C0.3~0.6
	201~300	C0.4~0.7
凹面一侧, 平面一侧	50以下	C0.3以下
	51~100	C0.5以下
	101~150	C0.3~0.6
	151~200	C0.4~0.8
	201~300	C0.6~1

※部分标准品的公差有时在上述公差之外。

棱镜

关于外形尺寸

由于棱镜具有需要保持棱角形状的特性, 有时需要保护性倒角。
因此棱镜的外形尺寸是假设没有倒角的尺寸。



应用系统

光学元件·
薄膜产品

镜架

底座

手动平台

驱动装置

自动平台

光源

目录

介绍

反射镜

分光镜

偏光类产品

透镜

组合透镜

滤光片

棱镜

基板 / 窗口

光学数据

维护

光学件清洁用工具套件

电子干燥箱

OTK



技术指标

型号	OTK
----	-----

本社常用工具套件。

- 此套件包含扳手，紧固用钢棒，透镜固定用螺纹环扳手等工具。

产品构成表

内容	数量
M3内六角扳手	2本
M4内六角扳手	2本
M6内六角扳手	2本
紧固螺钉用扳手	2本
紧固用钢棒(φ2, φ3, φ4)	各2 (计6)
螺纹环扳手(φ10~φ50mm, φ10~φ150mm)	各1 (计2)
镊子	1
测微头专用扳手	1

OCK



注意

- ▶ 清洁用压缩气罐·镜面清洁剂不能带入飞机内或进行空运。请注意安全操作。

技术指标

型号	OCK
----	-----

光学元件清洁用的必要的整套工具。
是光学实验的必需品。

- 主要包括空气吹风(清洁用压缩气罐)，镜面清洁剂，镜头纸等实用的清洁工具。
- 由于各种工具都保持在最少数量，在数量减少时，请分别补充相应产品的数量。

产品构成表

品名	型号	数量
清洁用压缩气罐	B-OFF	1个
镜面清洁剂	SLC2-300	1瓶 (300cc)
镜头纸	SLP-1	50片
镜头纸	SLP-2	100片
无屑抹布	SWC-150	5片 (150×150mm)
棉棒	—	50根
洗耳球	—	1个

OCK-S



注意

- ▶ 不包含清洁用压缩气罐。请使用洗耳球(手压式空气吹风)。

技术指标

型号	OCK-S
----	-------

将光学元件清洁用工具套件装入便携的硬盒中可以随身携带。出差或实验室移动时会很方便。

- 主要包括镜面清洁剂，镜头纸，洗耳球(手压式空气吹风)等实用的清洁工具。
- 由于各种工具都保持在最少数量，在数量减少时，请分别补充相应产品的数量。

产品构成表

品名	型号	数量
洗耳球	—	1个
镜面清洁剂	SLC-30	1瓶 (300cc)
镜头纸	SLP-1	100片 (80×150mm)
无屑抹布	SWC-150	2片 (150×150mm)
棉棒	—	30根
便携硬盒	—	1个

清洁用压缩气罐 镜面清洁剂 / 镜头纸

B-OFF
SLC / SLP

B-OFF

这是罐装压缩气体，可吹除附着在光学镜片表面的灰尘或脏物。



- 如果较脏的话，建议先使用清洁溶剂和镜头纸擦拭清洁。在最后清洁时，或组装后，再使用压缩气体吹一下，效果更好。
- 适用于镜面无法直接擦拭清洁的器件，比如，金膜反射镜等。
- 微量含有防霉 抗菌 消臭作用的成分，但是，此成分不会污染了光学器件的研磨面或镀膜面的。

注意

- ▶ 此压缩气罐有炸裂的危险，所以，绝对不要长时间放置在40℃以上高温的地方。即使是空罐，也绝对不要扔到火堆中去。
- ▶ 该产品禁止带入飞机内，禁止空运。
- ▶ 第一次使用新气罐时，有时会出现液滴。使用之前请先试喷一次，确认不再出液滴后再正式使用。

适用法令

高压气体保安法	不适用(液化气 可燃性气体)
消防法	第4类 酒精(水溶性液体)
劳动安全卫生法	危险物 引火性物体 通知对象物质(乙醇)
PRTR法	非适用
船舶安全法	危险物(高压气体)
航空法	高压气体
联合国危险物分类	(级别2.1)高压气体
联合国编号	1950

技术指标

型号	容量 (ml)	成份
B-OFF	350	喷射剂: 二甲醚 溶 液: 酒精 抗菌剂

SLC

去除附着在光学元件上的油脂或雾状的污渍等时使用的溶剂。
由于挥发性较高，擦净后不易留下不均的擦拭痕迹的清洁剂。



- 请稍微浸入镜头纸后使用。
- 可以用于带保护膜反射镜，多层电介质膜反射镜或透镜等。
- 一触式帽。

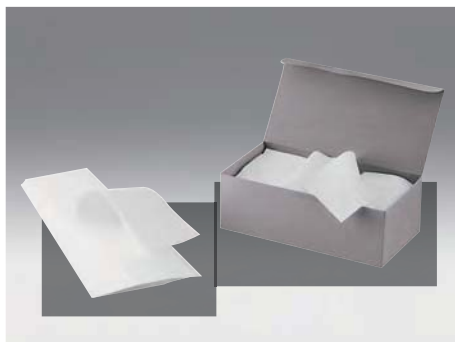
注意

- ▶ 该产品的危险性被指定为第四种·第一石油类危险等级Ⅱ。
- ▶ 该产品禁止带入飞机内，禁止空运。
- ▶ 请不要用于金膜反射镜或无保护膜的铝膜反射镜。否则反射镜表面会留下擦拭伤痕。

技术指标

型号	容量 (cc)	正庚烷 (异构体混合物) [%]	静电防止剂 [%]
SLC2-300	300	95	5

SLP



用纤维柔软的高纯度纸浆制成的纸。
浸沾镜面清洁剂，擦除光学元件上的污渍。

- SLP-2是适用于光学元件的柔软的纸。 SLP-1则适用于擦除窗口玻璃或光学样板等硬质玻璃上附着的水分或污渍。
- 剪裁为容易擦拭光学元件的外形尺寸。
- 每盒装100片。

注意

- ▶ 请不要用于金膜反射镜或无保护膜的铝膜反射镜。否则反射镜表面会留下擦拭伤痕。

技术指标

品番	尺寸 (mm)
SLP-1	80×300
SLP-2	100×200

应用系统

光学元件·
薄膜产品

镜架

底座

手动平台

驱动装置

自动平台

光源

目录

介绍

反射镜

分光镜

偏光类产品

透镜

组合透镜

滤光片

棱镜

基板 / 窗口

光学数据

维护

光学件清洁工具套件

电子干燥箱

SWC

是用超级细长的纤维制成的光学元件的清洁用布。
这种布很少释放灰尘，用这种纤细的纤维可以除去光学元件的污渍或灰尘。



技术指标		
品番	尺寸 (mm)	1包片数 (片)
SWC-150	150×150	20

- 不用侵占镜面清洁剂，请使用布本身擦拭光学元件。
- 擦净光学元件时，不会像镜头纸那样留下纤维碎末。
- 除了对有机溶液比较稳定之外，吸水性也很良好。
- 无屑抹布可以洗涤后多次使用。

注意

- ▶ 请不要用于金膜反射镜或无保护膜 of 铝膜反射镜。否则反射镜表面会留下擦拭伤痕。
- ▶ 该产品不是超净室用的抹布。

电子干燥箱[®]

H-D-M2

保管长时间不使用光学元件时或具有潮解性的晶体时使用的电子防湿保管箱。
通过数字式湿度调节器可以设置30%以下的湿度。



- 不需要更换干燥剂和排水，可以长时间持续使用。
- 使用数显式温度计，可以同时确认箱内和箱外的湿度。
- 没有电动机和风扇的振动声音。可以在非常安静的环境下使用。
- 采用省电设计，仅需要很少的电量，可以放心地24小时持续使用。
- 除光学元件之外，也可以作为照相机或电子零件的保管库使用。
- 保管光学元件时请从包装袋中取出后保存。

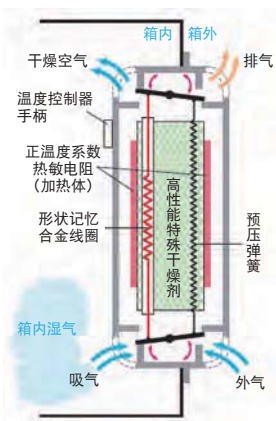
共同指标

箱体材料	高级钢板(0.8mm厚) 烤漆
门框材料	PVC框 透明钢化玻璃
门的固定方式	磁铁(带橡胶)
设定湿度	30~50%RH
除湿・湿度调节	湿度控制器, 旋钮自动调节(相对湿度5~7%RH)
湿度计	范围: 20~90%RH, 精度: $\pm 3 \sim 5\%$ RH
电源	100V (50/60Hz)
附属品	钥匙2把, 脚轮前轮制动器(仅H-155WD-M2)

注意

- ▶ 使用前请一定仔细阅读使用说明书。
- ▶ 本产品除除湿功能外没有加湿，温度调节功能。
- ▶ 请水平放置，不要放置在直射阳光下。
- ▶ 请不要安置在空调出口，蒸汽出口或水池周围。
- ▶ 本产品达到设定湿度需要一定时间，不具有快速除湿功能。
- ▶ 箱内放入纸张或瓦楞纸时湿度不易下降。请从包装袋中取出保管物品后保管。
- ▶ 请绝对不要把容易起火的药品放入其中。
- ▶ 本产品没有抗菌或防霉的设计。但是在低湿度和光催化剂的作用下可以抑制霉变的发生和繁殖。

干燥剂除湿系统原理



箱内的水分被特殊干燥剂(半永久性, 不用更换)吸收, 经IC定时器, 正温度系数热敏电阻和形状记忆合金线圈的联合作用, 自动变成蒸汽被排出箱外。不断重复这个过程, 箱内湿度就会慢慢减低, 同时湿度控制器实现箱内的湿度控制。

技术指标

型号	外形尺寸(含支脚) (W×D×H) (mm)	内部尺寸 (W×D×H) (mm)	内容积 (ℓ)	附属的隔板数 (贴有防震膜)	功率	自重 (kg)
H-60D-M2	400×384×520	398×320×440	56	2	0.3~1.82W/H 最大60.6W	10
H-80D-M2	400×384×674	398×320×594	76	3	0.3~1.82W/H 最大60.6W	12
H-110D-M2	400×384×918	398×320×838	107	4	0.3~1.82W/H 最大60.6W	16
H-180D-M2	400×381×1,315	398×320×1,235	157	6	0.3~3.6W/H 最大120W	25
H-155WD-M2	805×381×725	803×320×592	152	3	0.3~3.6W/H 最大120W	25

应用系统

光学元件・薄膜产品

镜架

底座

手动平台

驱动装置

自动平台

光源

目录

介绍

反射镜

分光镜

偏光类产品

透镜

组合透镜

滤光片

棱镜

基板 / 窗口

光学数据

维护

光学件清洁工具套件

电子干燥箱