

最近的薄膜技术及其应用

1. 前言

减反射膜、高通、低通、带通滤光器等所谓改变光谱分布的滤光器之类，就是在紫外，可见，红外区域采用光学薄膜的特殊之应用。关于它的应用方面，日文已有许多说明与报导^[1-5]，关于从紫外区到红外区光学薄膜最近的应用，藤原的综合报告^[6]较好。

最近几年，虽然不断出现特殊的应用实例，然而仅就光学用途的薄膜而言，在其性质上还没出现过把薄膜引进电子工业技术所期望的那样，展现新型光学技术领域的前景。目前情况，只是把十几年前就已经在理论上作过分析，探讨并予见其实现薄膜技术的应用，简单和具体化，并且不断提高薄膜部件的性能和效率。近几年，特别值得注意的薄膜生产技术是：

(i) 蒸发源的改进

所说的蒸发源，除了一部分使用反应溅射外，几乎均为电阻加热方法^[7]，而且由于现在采用了电子束蒸发，使得因电阻加热分解和蒸气压过低（等原因）难以应用的物质的蒸发工作变得很容易了，它正从实验室阶段进入生产轨道，成为一种经常采用的方法。

(ii) 各种测定器的改进

直到现在，适用于控制特殊膜厚的光电式控制方法占大多数，在生产中引入了电离真空计和石英振荡式的控制装置，不仅使用这些方法控制任意膜厚，而且容易精确地控制了蒸发速度，蒸发方法的半自动化也是显而易见的。

(iii) 超声波清洗装置的普及

特别是，透镜多层膜情况，工厂里基板的清洗，一般用手擦，由于引入了超声波清洗装置，在大量生产的情况中，稳定了质量，降低了成本，等等。然而，关于这些薄膜制作的基本技术，西文的报告姑且不谈，日文的书籍与报告也有很多^[8, 9]，作者选择的主题内容稍有不同，在制造薄膜部件的实践中是极为重要的分枝，关于蒸发物质的资料，作者汇集起来，并增加了两三个制造厂的实际经验资料。

2. 蒸发物质（材料）

实际上制作蒸发膜时，选择符合使用要求的蒸发物质较为困难。一般，必须用高精度控制其特性，以极耐久性（耐机械性，耐湿性）好的蒸发膜来制作的薄膜部件，往往是很困难的。之所以这样，则是由于非常牢固的膜层，其结构往往容易受蒸发条件影响，使其性能不稳定。即使被称为对蒸发条件稳定的物质，也是相对的，如甚至被看成是典型的稳定蒸发物质 MgF_2 ，据报导，其折射率的实测值，由于受蒸发条件或检测方法的影响，而差别也很大，其在 1.33—1.44 的范围内，蒸发膜的光学常数，不仅或多或少地随着蒸发条件（特别是基底温度与蒸发速度）而变化，而且制作多层减反射膜所常用的金属氧化物中，随着膜厚增加其折射率逐渐减少。即有许多膜层变成不均匀膜，失去作为均匀膜的折射率的意义。此外，正由于程度的差别，通常这种蒸发膜随时间的变化，光学常数也变化。下列各种数据均精确到小数点后两位，它仅适用于详细给定的蒸发条件与测定状态的情况，由于物

质的差异,有的第一位数也不确切。因此,本文提供的各种数据,在使用的波长范围内,视为制作理想薄膜部件时的粗略参考,实际工作中,应当独自充分地控制蒸发条件,根据使用要求,可重新校准数据。

下面的介绍,不对特定的蒸发物质做详细的叙述,按分子式的字母顺序排列,相同的重迭,逐条列出各种蒸发物质的性质。

其中有蒸发膜制作的标记,但数据不清者未标记号,实际的薄膜部件中经常使用的标符号(*),应用中特别重要的物质标符号(**)。

A

$AgCl$: n (可见) = 2.06。

Ag_2S : 与 CaF_2 组合, $\lambda = 8\mu$, 曾有制作 $R \sim 80\%$ 的滤光片的实例。

AlF_3 : n ($546m\mu$) = 1.38~1.39。

$Al_2O_3^{**}$: n 与基底温度有关,基底常温时, n ($550m\mu$) = 1.53~1.60, $300^\circ C$ 时, $n = 1.60 \sim 1.64$ 。 $r-Al_2O_3$ 的 n 最高,但由于它依赖于蒸发条件,所以不稳定。蒸发结晶时, n 有些降低(在 1.60~1.62),但是稳定。既使改变蒸发条件,膜层也不会不均匀。用反应溅射制作的膜的 n (可见) = 1.78。用电阻加热蒸发时,分解成吸收膜,电子束蒸发时,在 $230m\mu \sim 2\mu$ 范围内都得到无吸收膜(在 $2.7\mu \sim 3.6\mu$ 吸收很小)。

$M.P. = 2050^\circ C$ 。机械性能极强,甚至于蒸发到 μ 厚膜层也足够牢固。水不能侵入,仅是对酸稍有腐蚀。主要用于,紫外区滤光器,铝的保护膜,多层减反膜等。

As_2S_3 : 有 $InSb$ 基底的减反膜的使用例子。

B

BaO : $M.P. = 1923^\circ C$ 。用电阻加热蒸发。

$Bi_2O_3^*$: 用反应溅射制作的膜,其 n ($589m\mu$) = 2.45。 $M.P. = 817^\circ C$ 。直接采用电阻加热,电子束蒸发的分解成吸收膜。机械性能极强,水不侵蚀,酸侵蚀。主要用于,可见区的薄——厚型二层减反膜。

C

CaF_2^* : n ($546m\mu$) = 1.36~1.42。(以前的报告中, n (可见) = 1.23~1.26)。膜层经过多日变化, n 也改变,其次,与基底的温度有关。透明区, $150m\mu \sim 11\mu$ 。 $M.P. = 1360^\circ C$ 。用电阻加热 (M 。舟) 直接蒸发。机械性能差,有吸湿性。用于紫外与红外蒸发物质。

CaO : n ($589m\mu$) = 1.84。 $M.P. = 2572^\circ C$ 。用电阻加热 (W 舟) 蒸发很困难,用电子束蒸发容易。膜层机械性牢,有吸湿性。

$CaO \cdot SiO_2$: n ($440m\mu$) = 1.71, n ($600m\mu$) = 1.68。透明区: $250m\mu \sim 3\mu$ 。 $M.P. = 1540^\circ C$ 。用电阻加热 (W 舟) 蒸发。机械性牢固,受 HCl 侵蚀。(据作者的实验,用电阻加热和电子束一起直接蒸发的 n ($550m\mu$) = 1.45。

CdO : 反应溅射制作膜的 n ($589m\mu$) = 2.06, 用液体涂膜, $n = 1.90$ 。透明区: $500m\mu$ 以上。 $M.P. = 1426^\circ C$ 。电阻加热蒸发时分解。机械性能差,有吸湿性。

CdS^* : n ($500m\mu$) = 2.5~2.7。透明区, $520m\mu \sim 14\mu$ 。 $S.P. = 1380^\circ C$ 。电阻加热蒸发。机械性能较牢固。

CeF_3^{**} : n ($350m\mu$) = 1.67, n ($500m\mu$) = 1.60~1.62, n (2μ) = 1.58。透明区, $350m\mu \sim 15\mu$ 。

可采用电阻加热 (W 舟) 直接蒸镀,

但电子束蒸镀紫外线吸收少。基底再次加热时(透镜二面镀多层膜情况), n 变大些。机械性牢固(比 Al_2O_3 膜差), 无吸湿性。主要用于, 多层减反膜, 是红外区的低折射率物质, 等。

CeO_2^{**} : n 不仅与基底的温度有关, 也与蒸发速度有关, 随着膜厚的增加, n 逐渐减小, 变成不均匀膜, 基底为常温时, $n(550m\mu) = 2.1 \sim 2.2$; $300^\circ C$ 时, $n(550m\mu) = 2.3 \sim 2.35$, $n(2\mu) = 2.0 \sim 2.2$ 。透明区, $370m\mu \sim 8\mu$ 。但是, 仅在 $400m\mu$ 附近有较小的残余吸收。 $M.P. = 1950^\circ C$ 。可用电阻加热(W 舟)直接蒸发不分解, 电子束蒸发方法操作性能好。机械性非常牢固, 水和稀酸也不能侵蚀, 但膜层长年放置, 机械性能有些减弱(有报导说, 若用 HCl 处理 CeO_2 效果好)。主要用于多层减反膜, 各种多层膜之类。

$Cr_2O_3^*$: $M.P. = 2440^\circ C$ 。电阻加热(W 舟)蒸发时分解成吸收膜, 在大气中, 把蒸发膜在几百度温度下加热一小时左右, 就完全氧化。膜非常牢固, 酸和强碱都不能侵蚀。(电子束蒸发未作鉴定)

$CsBr^*$: $n(230m\mu \sim 250m\mu) = 1.8$ 。透明区 $230m\mu \sim 40\mu$ 。可用电阻加热直接蒸发。主要用途, 与 MgF_2 和 Na_3AlF_6 等组合, 用于 $230m\mu \sim 250m\mu$ 的紫外区的多层膜。

CsI^* : $n(250m\mu \sim 300m\mu) = 2.0$ 。透明区, $250m\mu \sim 750m\mu$ 。用电阻加热直接蒸发。有明显的吸湿性。主要用途, 与 MgF_2 和 Na_3AlF_6 组合用于 $250m\mu \sim 300m\mu$ 的紫外区滤光片。

F

$Fe_2O_3^*$: $n(550m\mu) = 2.75$, $n_K(550m\mu) =$

0.107 。透明区, $800m\mu$ 以上。 $M.P. = 1565^\circ C$ 。膜是用反应溅射或电阻加热(W 舟)直接蒸发后, 在空气中加热氧化制作的。(电子束蒸发未作鉴定)机械性非常牢固, 无吸湿性, 但受 HCl 和草酸侵蚀。主要用于, 颜色眼镜, 多层吸收膜, 为红外区使用的物质。

$Fe_3O_4^*$: $n(589m\mu) = 2.5$, $n_K(550m\mu) = 0.3$ 。它的各种性质大致与 Fe_2O_3 相同。

G

Gd_2O_3 : 随膜厚增加, 折射率增加。 $n(500m\mu, \lambda/4$ 层) $= 2.05$, $n(500m\mu, \lambda/3$ 层) $= 2.2$ 。用不等厚度膜厚控制蒸发是困难的。膜的颗粒大与不规则是明显的。可见区均有吸收。

Ge^{**} : (多用于红外区多层膜的基底) 吸收端, 1.8μ 。可用电阻加热(Ta 或 W 舟)蒸发。以 Ge 基底作红外区滤光片使用时, 大约一毫米厚度合适。当把基底加热时, 不只是吸收端向长波移动, 而且透过率显著下降。其次, 在铝膜上淀积 Ge 膜(黑透镜组合等), 把基底加热 $400^\circ C$ 以上时, 由于在铝(Al)与锗(Ge)的边界上引起扩散, 可见区的反射率显著下降, 当这个边界上又涂上了膜厚为 $m\mu$ 的 SiO 膜时, 反射率的变化消除。主要用于, 红外的各种多层膜(这种减反膜, 通常用 ZnS 膜)。

I

$InAs^*$: (用作蒸发膜, 但更适合作基底用) 吸收端 3.8μ 。 $n(4\mu) = 3.4$, $n(15\mu) = 3.4$ 。用于红外区多层膜的基底时厚度为 0.2 毫米以下适宜。把 $InAs$ 加热($\sim 250^\circ C$)时, 吸收端向长波方向移动, 透过率显著下降。用 ZnS

作减反膜。

$InSb^*$: (作基底使用情况)

吸收端, 7μ 。 $n(7\sim 8\mu) = 4.0$, $n(15\mu) = 4.0$ 。作滤光片基底使用时厚度为 0.1 毫米以下适宜。 $InSb$ 基底加热时, 吸收端向长波移动透过率显著下降。 ZnS 适合作减反膜。

$InSb$ (n 型) 蒸发膜: 吸收端 5.5μ , $n(6\mu) = 3.6$ 。由于掺杂物的不同, 吸收端变化。

$In_2O_3^*$: $n(500m\mu) = 2.0$ 。透明区, $420m\mu$ 以上。用电阻加热 (Pt 加热器)、反应溅射、化学涂膜等方法制作薄膜。因其机械性能极牢固, 所以有用于红外线透过的滤光器的例子。

K

KBr^* : $n(589m\mu) = 1.56$, $n(3\mu) = 1.54$ 。透明区, $600m\mu\sim 30\mu$ 。可用电阻加热制作, 因蒸发条件所致, 随膜厚的增加, 折射率逐渐减少, 以至易于形成不均匀膜。

KCl : 透明区, $180m\mu\sim 20\mu$ 。

L

LaB_6 : 有红外线反射滤光器的专利。

LaF_3^* : $n(200m\mu) = 1.67$, $n(500m\mu) = 1.60$, $n(2\mu) = 1.55\sim 1.57$ 。透明区, $220m\mu$ 以上。电阻加热蒸发 (W 舟)。机械性能非常牢固, 无吸湿性。

用于多层减反射膜等。

$La_2O_3^*$: 折射率与基底的温度有关, 且随着膜厚的增加变大。 $n(400m\mu, \lambda/4$ 层) $= 1.85$, $n(400m\mu, 3\lambda/4$ 层) $= 2.0$; $n(800m\mu, \lambda/4$ 层) $= 1.8$, $n(800m\mu, 3\lambda/4$ 层) $= 1.88$ 。 $400m\mu$ 以上无吸收。也可用电阻加热 (W 舟) 直接蒸发, 但电子束蒸发的方法, 工作性好。机械性能相当牢固, 无吸

湿性, 但经过一些时间后易于引起变化, 有些不稳定。也有利用不均匀膜性质制造出良好的多层减反膜的专利。

LiF^* : $n(546m\mu) = 1.36\sim 1.37$ 。随时间变化 n 有改变, 其次, 随膜厚增加有不均匀性。透明区, $110m\mu\sim 10\mu$ 。 $M.P. = 870^\circ C$ 。用电阻加热 (Mo 舟) 制作膜层。机械性能差, 有吸湿性。膜厚极限为 $\sim 2\mu$ 。紫外区物质。

M

MgF_2^{**} : $n(550m\mu) = 1.38$, $n(2\mu) = 1.35$ 。透明区, $230m\mu\sim 10\mu$ 。膜厚限于 2μ 以下。

$M.P. = 1395^\circ C$ 。紫外, 可见, 红外区的各种滤光片, 透镜上的多层膜等。(因其他方面已有所了解, 详细的内容省略)。

MgO^* : $n(500m\mu) = 1.73$ 。可见区无吸收。 $M.P. = 2800^\circ C$ 。用电子束容易蒸发。有吸湿性。

$MgO.Al_2O_3^*$: $n(589m\mu) = 1.72$ 。 $M.P. = 2135^\circ C$ 。用电阻加热 (W 舟) 进行蒸发时分解, 在空气中加热充入氧制成透明膜。电子束蒸发时, 即使直接进行蒸涂也不分解, 在可见区内是无吸收膜。有吸湿性, 易受 HCl 侵蚀。

MnO_2 : $M.P. = 535^\circ C$ 。因用电阻加热蒸发时会分解, 所以蒸镀的是低价氧化物, 并在空气中加热进行氧化。也易受 HCl 侵蚀。

MoO_3 : $M.P. = 795^\circ C$ 。酸侵蚀。

N

$Na_3AlF_6^*$: 膜随时间变化, n 也变化, $n(550m\mu) = 1.35\sim 1.39$ 。(过去的报告里也有的说是 1.28)。透明区,

200 μ ~10 μ 。 $M. P. = 1000^\circ\text{C}$ 。可用电阻加热 (Mo 舟) 蒸镀。机械性能差, 也有吸湿性。膜厚限于~4 μ 。是用于紫外和红外区的蒸发物质。

5 $NaF \cdot 3AlF_3$: 与 Na_3AlF_6 大体相同。

$NaCl^*$: $n(589m\mu) = 1.54$ 。透明区, 175 $m\mu$ ~20 μ 。用电阻加热可易于蒸发。机械性能差, 有显著的吸湿性。应用实例: 有关于制作与 Te 组合~10 μ 的红外区干涉滤光片的报告。

NaF : $n(589m\mu) = 1.32 \sim 1.34$ 。透明区, 250 $m\mu$ 以上。

NdF_3^* : $n(400m\mu) = 1.62$, $n(1\mu) = 1.58$, $n(2\mu) = 1.57$ 。透明区, 220 $m\mu$ ~6 μ 。用电阻加热蒸发。机械性能牢固, 无吸湿性。

$Nd_2O_3^*$: $n(400m\mu) = 2.1$, $n(1\mu) = 2.0$, $n(2\mu) = 1.95 \sim 1.98$ 。600 $m\mu$ 以下有吸收。用电阻加热 (W 舟) 直接蒸发, 但随蒸发条件不同, n 、 k 有变化。基底温度高, 蒸发速度快时, 有显著的分解。(电子束蒸发没讨论) 机械性能牢固, 没有吸湿性。用于近红外区的多层减反膜。

NiO : $n(589m\mu) = 2.15$ 。 $M. P. = 2090^\circ\text{C}$ 。用电阻加热分解。用反应溅射制作。(电子束没讨论) 机械性能极牢固, 酸易腐蚀。

P

$PbCl_2^*$: $n(400m\mu \sim 600m\mu) = 2.2 \sim 2.26$, $n(10\mu) = 10$ 。透明区, 300 $m\mu$ ~14 μ 。 $M. P. = 501^\circ\text{C}$ 。用电阻加热蒸发。机械性能牢固, 但有吸湿性。与 MgF_2 组合制作 300 $m\mu$ ~400 $m\mu$ 的各种滤光片, 也有应用在 $InSb$ 基底上的减反膜的例子。

PbF_2 : $n(250m\mu \sim 300m\mu) = 1.9 \sim 2.1$, $n(500m\mu) = 1.68$ 。有与 ZnS 组合用在棱镜式半透明镜上的专利。

PbS^* : 吸收端为 3 μ , $n(3\mu) = 4.0$ 。 $M. P. = 1114^\circ\text{C}$ 用电阻加热蒸发 (Mo 舟)。机械性能差, 对 KOH 不腐蚀, 但对其他酸腐蚀。与 ZnS 一起用于减反膜, 还用于 3 μ 以上的透明滤光片。

$PbTe^{**}$: 吸收端为 3.8 μ 。 $n(5\mu) = 5.1 \sim 5.5$ 。透明区, 3.8~20 μ 。是红外区高折射率物质。

Pr_6O_{11} : n 随膜厚而增加。 $n(400m\mu, \lambda/4 \text{层}) = 1.93$, $n(400m\mu, 3\lambda/4 \text{层}) = 2.1$ 。在 600 $m\mu$ 以下波段有吸收。用电阻加热蒸发, 机械性能牢固。无吸湿性。

PtO_2 : 用反应溅射制作薄膜。因膜的颗粒小耐久性好, 所以用于电子显微镜的复制涂膜。

R

RbI : $n(250m\mu \sim 300m\mu) = 2.0$ 。透明区, 250 $m\mu$ 以上。

S

$Sb_2O_3^*$: n 与蒸发速度有关, 快速蒸发时 n 变大。 $n(300m\mu \sim 350m\mu) = 1.95 \sim 2.29$, $n(500m\mu) = 1.85 \sim 2.0$ 。透明区 290 $m\mu$ 以上。 $M. P. = 656^\circ\text{C}$ 。电阻加热 (氧化铝坩埚) 蒸发。机械性能不太牢固, 对 HCl , KOH 能腐蚀。主要用途, 与 MgF_2 和 Na_3AlF_6 组合, 制作 300 $m\mu$ ~400 $m\mu$ 的各种滤光片。其次, 也可作为可见区二层减反膜用。

Sb_2O_4 : 用化学涂膜的 $n(500m\mu) = 1.90$ 。透明区 340 $m\mu$ 以上。用电阻加热与电子束蒸发成吸收膜。

$Sb_2S_3^*$: $n(589m\mu) = 3.0$, $n(3\mu) = 2.8$, $n(10\mu) = 2.5$ 。透明区, 500 $m\mu$ ~10 μ 。 $M. P. = 550^\circ\text{C}$ 。用电阻加热 (Mo 舟) 蒸发。机械性能差, 对强

碱腐蚀。是红外区物质。

Se^* : $n(2\mu) = 2.45$ 。透明区 $700m\mu \sim 20\mu$ 。电阻加热蒸发。机械性能牢固。是红外区物质。

Si^{**} : (红外区也作基底使用)

吸收端 1.1μ 。 $n(2\mu) = 3.3 \sim 3.5$, $n(15\mu) = 3.4$ 。 7μ 以上有吸收带。把基底 (作为基底使用时的适当厚度为一毫米) 涂 SiO 和 ZnS 作减反射膜用。与 Ge , $InAs$, $InSb$ 不同, 把基底加热吸收端移动和透过率降低极小。制作蒸发膜适合用电子束蒸发, 并加热。

SiO^{**} : n 与蒸发速度、真空度有关, n 在紫外区的吸收有大幅度的变化。在高真空中, 快速蒸发时, n 变大, 在低真空中进行缓慢蒸发时, n 变小。¹¹ $n(550m\mu) = 1.55 \sim 2.0$, $n(2\mu) = 1.5 \sim 1.85$ 。透明区 $500m\mu \sim 8\mu$, 无吸收。 8μ 以上吸收增加。还有, 紫外线照射膜层时, 在紫外区吸收减少。用电阻加热 (带盖的钨圈) 容易蒸发 (升华)。主要用于, 铝镜的保护膜, 近红外区的多层减反膜, 红外减反膜等。

SiO_2^{**} : $n(550m\mu) = 1.46$, $n(2\mu) = 1.44$ 。透明区 $160m\mu \sim 5\mu$ 。 $200m\mu \sim 4\mu$ 为无吸收区。 $M.P. = 1610^\circ C$ 。由于用电阻加热直接蒸发时分解, 以前是用反应溅射或 SiO 氧化制成薄膜, 而用电子束直接蒸发也不分解, 得到无吸收的 SiO_2 膜。机械性能极牢固, 无吸湿性, 仅对强碱腐蚀。主要用于, 紫外区的各种滤光片, 紫外, 可见, 近红外区的多层减反膜。

Sm_2S_3 : n 随膜厚增加, $n(500m\mu, \lambda/4\text{层}) = 2.05$, $n(500m\mu, 3\lambda/4\text{层}) = 2.2$ 。在可见区有吸收。用电阻加热可直接蒸发, 由于不等厚的蒸发, 膜厚的控制是困难的。

SnO_2^* : $n(589m\mu) = 1.96 \sim 2.1$, $n(3\mu)$

$= 1.9$ 透明区 10μ 以下。用电阻加热 (升华) 和电子束一起直接蒸发时, 出现吸收。用反应溅射制作。机械性能极牢固, 对强碱腐蚀。主要用于, 各种滤光片之类, 防静电膜等。

T

$Ta_2O_5^*$: $n(300m\mu) = 2.84$, $n(500m\mu) = 2.20 \sim 2.40$ 。用电子束直接蒸发, 在 $500m\mu$ 以下也有吸收。机械性能极牢固, 对强碱也不腐蚀。主要用于, 近红外多层减反膜, 受强碱腐蚀的玻璃的保护膜。

Te^{**} : $n(6\mu) = 4.9$ 。透明区 $3.4 \sim 20\mu$ 。是红外区高折射率物质。

TiO_2^{**} : $M.P. = 1850^\circ C$ 。用电阻加热蒸发时分解为吸收膜。金红石型的 TiO_2 膜的 $n(546m\mu) = 2.7$ 。可见区无吸收。把 Ti 用电阻加热 (W 舟) 蒸发, 在空气中进行加热氧化。(金红石 TiO_2 结晶的电子束蒸发没讨论) 锐钛矿型 TiO_2 膜的 $n(550m\mu) = 2.3 \sim 2.4$ 。透明区, $350m\mu$ 以上。在氧气 (O_2) 中用电阻加热 TiO 蒸发制成 TiO_2 膜。用这个方法制作膜层, 仅在 $400m\mu$ 附近有残余吸收。另外, 用化学涂膜制作。(电子束蒸发没讨论) 膜是均匀的、机械性能极牢, 在潮湿环境中不腐蚀。主要用于, 可见区, 近红外区的各种滤光片, 多层减反膜等。

ThF_4^* : $n(\text{可见}) = 1.45 \sim 1.50$ 。透明区为 10μ 以下。有与 ZnS 混合制作薄膜的专利。(这种物质, 要有放射线保护才适用。)

ThO_2^{**} : $n(250m\mu) = 1.9$, $n(550m\mu) = 1.8$, $n(2\mu) = 1.75$ 。反应溅射制作膜的 $n(589m\mu) = 2.2$ 。透明区 $230m\mu$ 以上。用电阻加热直接蒸发, 分解为吸收膜, 电子束蒸发时, 紫外, 可见

区均为无吸收膜。膜层易受蒸发条件的影响。机械性能极牢，在潮湿环境中也不腐蚀。主要用于紫外区的各种滤光片，及可见区的多层减反膜等。

(有防放射线保护措施适用)。

$ThOF_2^*$: (有防放射线保护措施适用)。

U

U_3O_8 : $M.P. = 2700^\circ C$ 。用电阻加热蒸发 (W 舟)，(电子束蒸发没讨论)。因其颗粒极小，用于电子显微镜的复制涂膜。(有防放射线保护措施适用。)

W

WO_3^* : n (可见) = 1.8~2.0。透明区 10μ 以下。 $M.P. = 1473^\circ C$ 。用电阻加热 (Pt 加热器) 蒸发。机械性能较牢固。用于电子显微镜的复制涂膜。

Y

Y_2O_3 : 与 La_2O_3 , Pr_6O_{11} 一样，随膜厚的增加 n 变大，颗粒大又很散乱。可见区有吸收。

Z

ZnS^{**} : $n(550m\mu) = 2.3\sim 2.35$, $n(2\mu) = 2.2$ 。透明区 $400m\mu\sim 15\mu$ 。升华点 $1900^\circ C$ 。用电阻加热 (升华) 可容易地蒸发，机械性能不太牢固，并有吸湿性。如用离子轰击加热基底，可改善耐久性。主要用于可见与红外区的各种滤光片之类。

ZrO_2^{**} : $n(550m\mu) = 2.1$, $n(2\mu) = 2.0$ 。透明区 $340m\mu$ 以上。 $M.P. = 2700^\circ C$ 。用电阻加热直接蒸发时，分解为吸收膜，电子束蒸发时，可见区为无吸收膜。因蒸发条件的关系，随膜厚增加 n 逐渐减小，易成为不均匀膜。机械性能极牢固，在潮湿环境中不腐蚀。主要用于可见及近红外区的多层减反

膜。

3. 其 他

迄今所采用过的制备光学薄膜的蒸发物质如一览表中所汇集的。篇幅的关系，其他情况省略了，但它们在实际应用上是重要的 (金属膜) 和有趣味的技术范围 (混合膜)。

(i) 关于金属膜的诸特性

在全反射镜中，使用了 Al, Ag, Rh 等。很笼统地谈，每一种蒸发物质，用在高真空中快速蒸发的方法，其反射率都很高，其次，将基底加热膜层变得牢固，但表面的颗粒增大，反射率下降。 Al 膜，由于在紫外、可见区都有高反射率，所以在实用上是重要的。在近紫外，可见区，中性的半透镜，是使用了 Ti ，各若美 A ($Ni 80\% + Cr 20\%$)，因康奴尔合金 ($Ni 80\% + Cr 15\% + Fe 5\%$) 等，因其吸收多，在需要透射与反射光的分配比的效果很好的情况下， Ag, Al, Au 等与 ZnS, ClO_2 等常常组合起来用。

(ii) 关于混合膜实验特性
混合膜

(a) 是在大气中混合二种物质，用于改变各个的重量比，变化折射率的方法^{[10][11]}，(CeF_3-CeO_2)，(CeF_3-ZnS)，(ThF_4-ZnS)，(CeF_3-ZrO_2)；以及

(b) 用两个蒸发源同时蒸发，改变折射率的方法^[12]，有 ($Ge-MgF_2$)，(CeO_2-MgF_2)，($Ge-ZnS$)，($ZnS-Na_2AlF_6$)，($ZnS-MgF_2$) 等。(b) 的方法，由于它不单具有任意的折射率，还能做成不均匀的膜层，因而在技术上非常有趣。(a) 的方法也由于在各种技术上存在着的难题很多，所以，只在折射率变化很小的情况下，才可以说有实用价值。

(下转第 14 页)

$s_f = 1.5s_0, 2.5s_0, 4.6s_0, 9s_0, \dots,$
或 $s_f = 1.5s_0, 1.9s_0, 2.5s_0, 3.3s_0, \dots.$

对其它波数, 例如可在短波和长波端各取一些点, 计算 s_0 和 s_f . 而能量系列仍按 5.2 节之值。

参 考 文 献

[1] *Broderson, J.O.S.A.*, 43, 877,

(1953).

[2] *White and Liston, J. O. S. A.*, 40, 93, (1950).

[3] Петраш, *Опт. и Спектр.*, VI, 792, (1959).

[4] *J. E. Stewart, Infrared Spectroscopy, Marcel Dekker Inc., New York*, 1970.

(上接第36页)

参 考 文 献

1. 久保田広: 日本物理学会志, 5, 238(1950)。

2. 久保田広: 応用物理, 16, 184, (1947)。

3. 久保田広: 応用物理, 17, 79, (1948)。

4. 荒哲哉: 応用物理, 19, 65 (1950)

5. 木内政藏编: 薄膜の光学的研究, 岩波书店(1954)。

6. 藤原史朗: 応用物理, 29, 139, (1960)。

7. 例えは, *L. Holland: Vacuum Deposition of Thin Films, John Wiley and Sons, N.Y.*(1958)。

8. 例えは, 神山, 菅田编: 薄膜工

学ハンドブック, オーム社(1964)。

9. 沢木司: 真空蒸着, 日刊工业新闻社(1965)。

10. *S. Fujiwara: J. Opt. Soc. Am.* 53. 880, 1317(1963)。

11. *B.P.* 975184(1964)。

12. 例えは, *R. Jacobsson and J. O. Martensson: Appl. Opt.* 5, 29(1966)。

此外, 在条六次サマー・セミナー(光学恳谈会, 预定在1967年8月召开)的论文集中, 预定沢木将以“薄膜制作技术与在光学元件上的应用”为题, 执笔写出论文。

译自“光学技术コンタクト

Vol. 5, No. 6, P19-24 1967.

(杨树梅译, 缪纬群、高大卿校)