

目录

1 隔热的基础知识..... 3

1.1 衡量玻璃性能的相关参数..... 5

2 光学薄膜的物理基础..... 5

3 多层光学薄膜..... 7

4 膜系组成膜层..... 8

4.1 金属膜 9

4.2 常用金属膜 10

4.3 化合物膜 10

4.4 介质膜及半导体膜 11

4.5 低辐射（Low-E 玻璃） 12

4.6 镀膜常用化合物 16

5 常见的几种膜系及特点..... 19

5.1 阳光控制膜/TS、TE 系列 19

5.2 阳光控制膜/SS 系列 19

5.3 阳光控制膜（欧洲市场流行的膜系） 19

5.4 阳光控制膜/可热处理的膜系 19

5.5 标准 Low-E 膜 19

5.6 阳光 Low-E 膜 19

5.7 可钢化 Low-E 膜 20

5.8 双银 Low-E 膜 20

5.9 在线镀 Low-E 膜膜系 20

5.10 膜系各膜层介绍 20

6 膜系的简单模拟计算（光学薄膜软件 TFCalc3.5） 22

7 成品玻璃的种类 23

7.1 钢化玻璃 23

7.2 夹层玻璃 23

7.3 中空玻璃 24

7.4 真空玻璃 24

7.5 节能玻璃的发展历程 25

8 低辐射镀膜玻璃制备技术..... 26

8.1 真空蒸镀法 26

8.2 溅射镀膜法 26

8.3 电浮法镀膜 27

8.4 热喷涂镀膜法 28

8.5 溶胶-凝胶（Sol-Gel）镀膜法 29

8.6 化学气相沉积镀膜法(CVD) 30

8.7 磁控电子阴极真空溅射镀膜法 32

9 Low-E 玻璃的两类生产技术..... 37

9.1 在线 LOW-E 玻璃生产技术..... 37

9.2 离线 Low-E 玻璃生产技术 39

10 离线磁控溅射技术的缺点及改进方向 40

10.1 镀膜工艺区少且调整困难 40

10.2 银层氧化问题 41

10.3 膜层均匀性 42

10.4 不同膜层使用不同阴极 43

10.5 磁控溅射靶的改造 44

10.6 膜系的优化设计 45

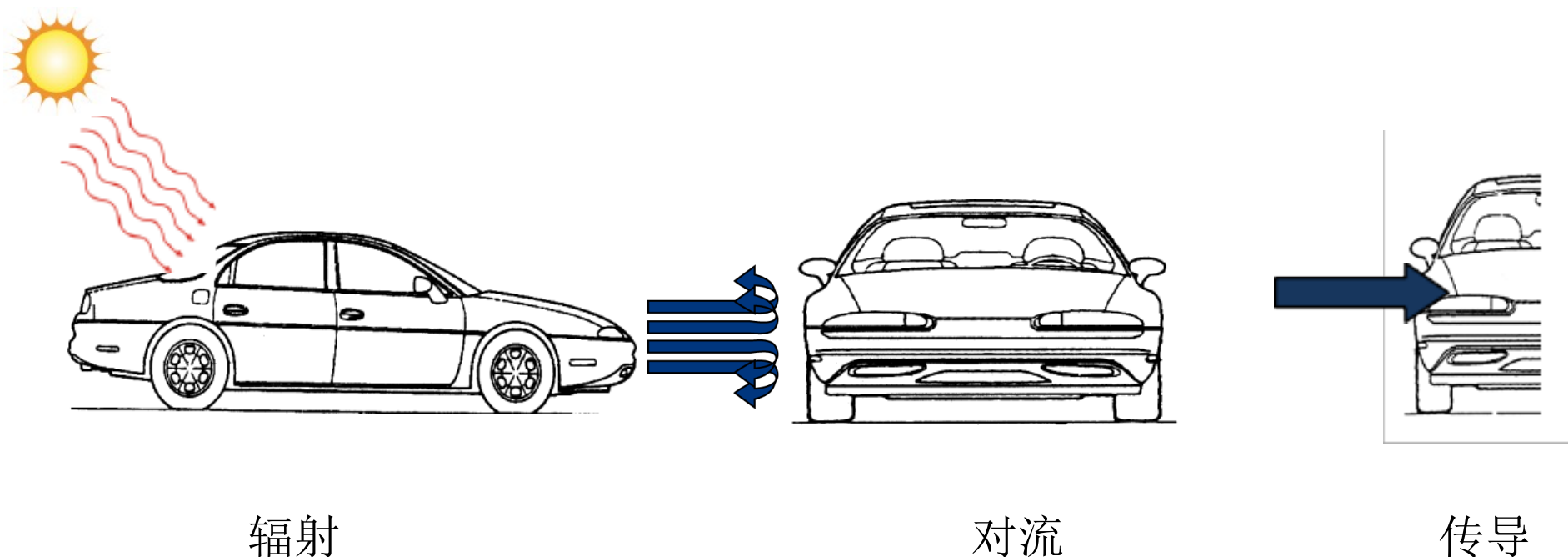
10.7 玻璃加工方式改进 47

11 透明隔热玻璃涂料..... 47

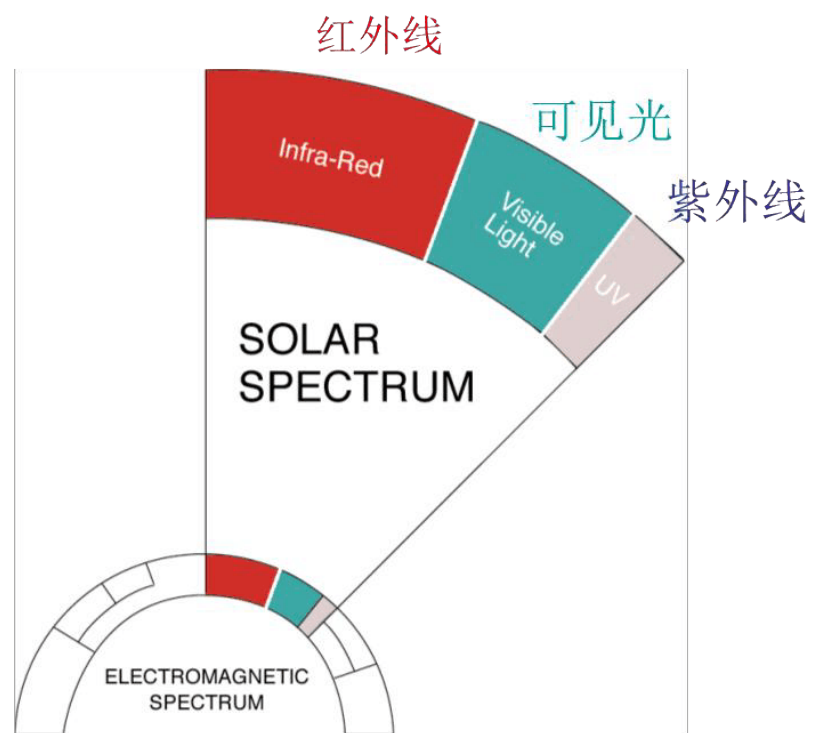
汽车隔热玻璃

1 隔热的基础知识

热的传递方式主要有三种：辐射、对流、传导。对流是因为温度的差异，热量随着空气的流动而传递。比如汽车仪表盘通过热空气的流动而散热。传导是由于车辆内外的温差，热量直接由高温区向低温区传递。辐射指的是能量以电磁波或粒子（如阿尔法粒子、贝塔粒子等）的形式向外扩散。自然界中的一切物体，只要温度在绝对温度零度以上，都以电磁波和粒子的形式时刻不停地向外传送热量，这种传送能量的方式被称为辐射。辐射之能量从辐射源向外所有方向直线放射。物体通过辐射所放出的能量，称为辐射能。光线透过车窗照到车内，携带了一定的能量，一部分转化为热能。热能被汽车内室件吸收，车辆成为即时热发射体。



透过大气层到达地面的太阳辐射热按光谱区的能量分配大致如下：
波长 0.3-0.38um 的紫外光，其辐射能约占太阳总辐射能的 13%；波长 0.38-0.78um 的可见光区，其辐射能约占太阳辐射能的 43%；波长 0.78-2.5um 的红外光，其辐射能约占太阳能辐射的41%；其余的约占 3%，即太阳能能量的 97%集中在波长 0.3-2.5um 的范围。

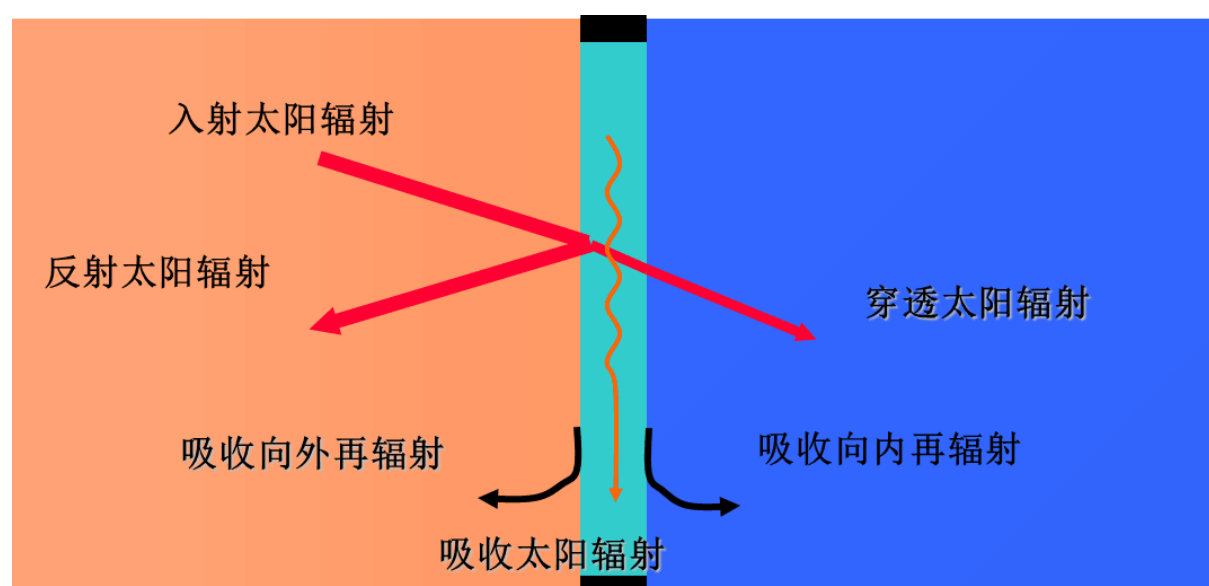


太阳光的光谱构成

紫外波段导致物体褪色、老化，使车内饰品、家具地毯、窗帘、织物以及家具油漆褪色；同时使皮肤颜色加深，过度的紫外线暴晒会导致皮肤癌。

可见光波段是人类肉眼可以看见的唯一光谱，可见光谱可以进一步分为不同颜色即红、橙、黄、绿、青、蓝、紫，可见光谱的好处是安全，其弊端为过量会导致眩光。

红外线是我们可以直接感受到热量的直接来源，是阳光中的不可见的能量。



车外

车内

阻隔的能量=反射能量+吸收玻璃吸收后向外辐射能量

因此如果使进入到车内的辐射能量最少，则应使反射率最大。

1.1 衡量玻璃性能的相关参数

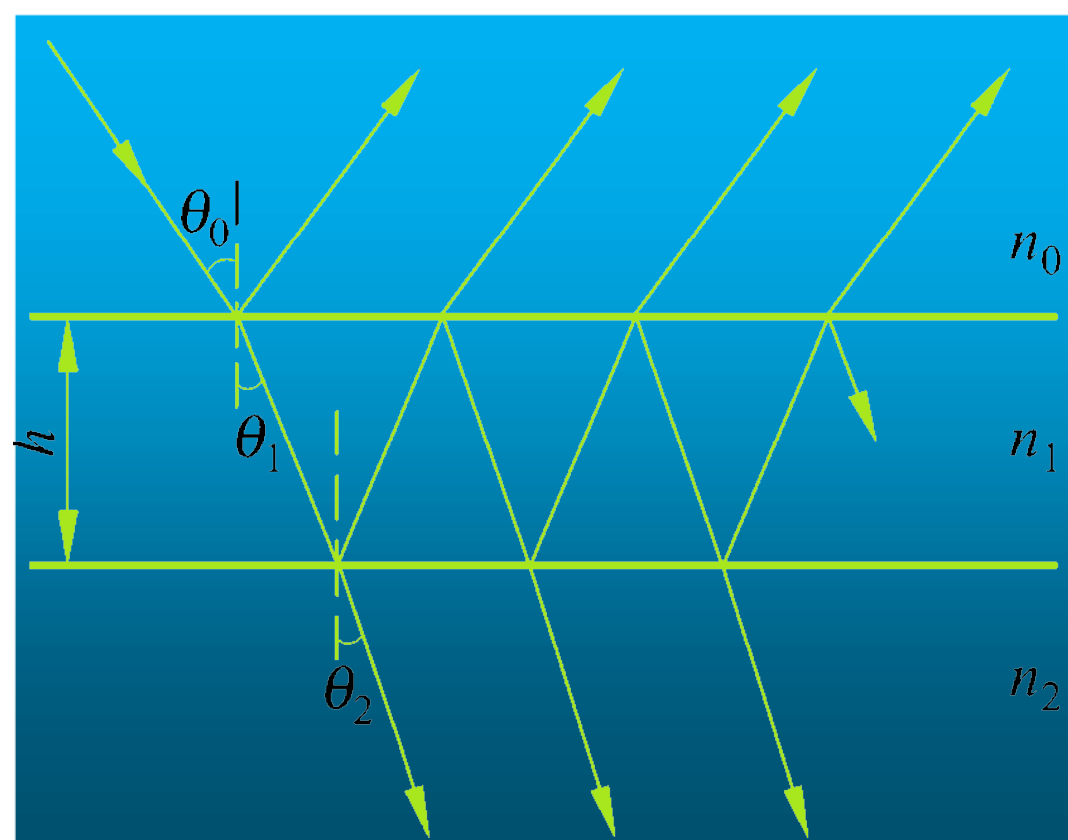
E 值：辐射率。辐射率是指透过玻璃的远红外线与入射远红外线之比。

辐射率越小，通过膜层回去的热量越多，隔热效果越好。

K 值（U 值）：是指在稳定传热条件下，玻璃两侧空气温度差为 1°C 时，单位时间内通过 1 平方米中空玻璃的传热量。以 $\text{W}/\text{m}^2\cdot^{\circ}\text{C}$ 表示。K 值越低，说明中空玻璃的保温隔热效果越好，节能效果越显著。

G 值：G 值是太阳能获得值（遮荫系数），它是用来衡量太阳能总透过率的量，南方地区要求G 值越低越好，北方地区要求G 值越高越好。

2 光学薄膜的物理基础



当光束由 n_0 介质入射到薄膜上时，在膜内多次反射，并在薄膜的两表面上有一系列平行光束射出。

$$E_{01r} = r_1 E_{0i}$$

$$E_{02r} = r_2 t t' E_{0i} \exp(-i\varphi)$$

$$E_{03r} = r_2 t t' (r_1' r_2) E_{0i} \exp(-i2\varphi)$$

$$E_{04r} = r_2 t t' (r_1' r_2)^2 E_{0i} \exp(-i3\varphi)$$

⋮

$$E_{0r} = E_{0i} \left\{ r_1 + r_2 t t' \exp(-i\varphi) \left[1 + r_1' r_2 \exp(-i\varphi) + (r_1' r_2)^2 \exp(-i2\varphi) + \cdots \right] \right\}$$

则反射率

$$R = \left| \frac{E_{0r}}{E_{0i}} \right|^2 = r r^* = \frac{r_1^2 + r_2^2 + 2r_1 r_2 \cos \varphi}{1 + r_1^2 r_2^2 + 2r_1 r_2 \cos \varphi}$$

其中 r_1 、 r_2 是薄膜上下表面的反射系数， φ 是相邻两光束间的相位差，

$$\text{且有 } \varphi = \frac{4\pi}{\lambda} n_1 h \cos \theta_1;$$

我们讨论在正入射情况下，有：

$$r_1 = \frac{n_0 - n_1}{n_0 + n_1} \quad r_2 = \frac{n_1 - n_2}{n_1 + n_2}$$

因此，

$$R = \frac{(n_0 - n_2)^2 \cos^2 \frac{\varphi}{2} + \left(\frac{n_0 n_2}{n_1} - n_1 \right)^2 \sin^2 \frac{\varphi}{2}}{(n_0 + n_2)^2 \cos^2 \frac{\varphi}{2} + \left(\frac{n_0 n_2}{n_1} + n_1 \right)^2 \sin^2 \frac{\varphi}{2}}$$

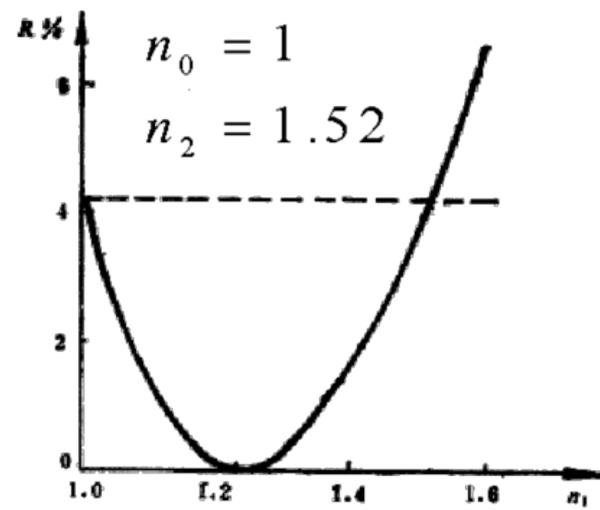
当 $n_1 > n_2$ ， $R > R_0$ 时，具有增反作用，成为增反膜；

当光学厚度为 $n_1 h = (2m+1) \lambda_0$ 时，反射率为：

$$R = \left(\frac{n_0 - n_2}{n_0 + n_2} \right)^2$$

当 $n_1 > n_2$ 时，反射率较大，有较好的增反作用。

当光学厚度 $nh = (2m+1) \lambda_0/4$ 时，薄膜的反射率 R 有极值；



介质的反射率随介质折射率的变化曲线

3 多层光学薄膜

由于单层膜的功能有限，为满足更高的光学特性，可采用多层膜系，处理方法可利用等效分界面和等效折射率的概念，再加上地推的方法，将多层膜问题简化成单层膜来处理。

对 $\lambda_0/4$ 单层膜，有

$$R = \left(\frac{n_0 - n_2/n_1}{n_0 + n_2/n_1} \right)^2$$

设 $n = n_2/n_1$ ，那么， $R = \left(\frac{n_0 - n}{n_0 + n} \right)^2$

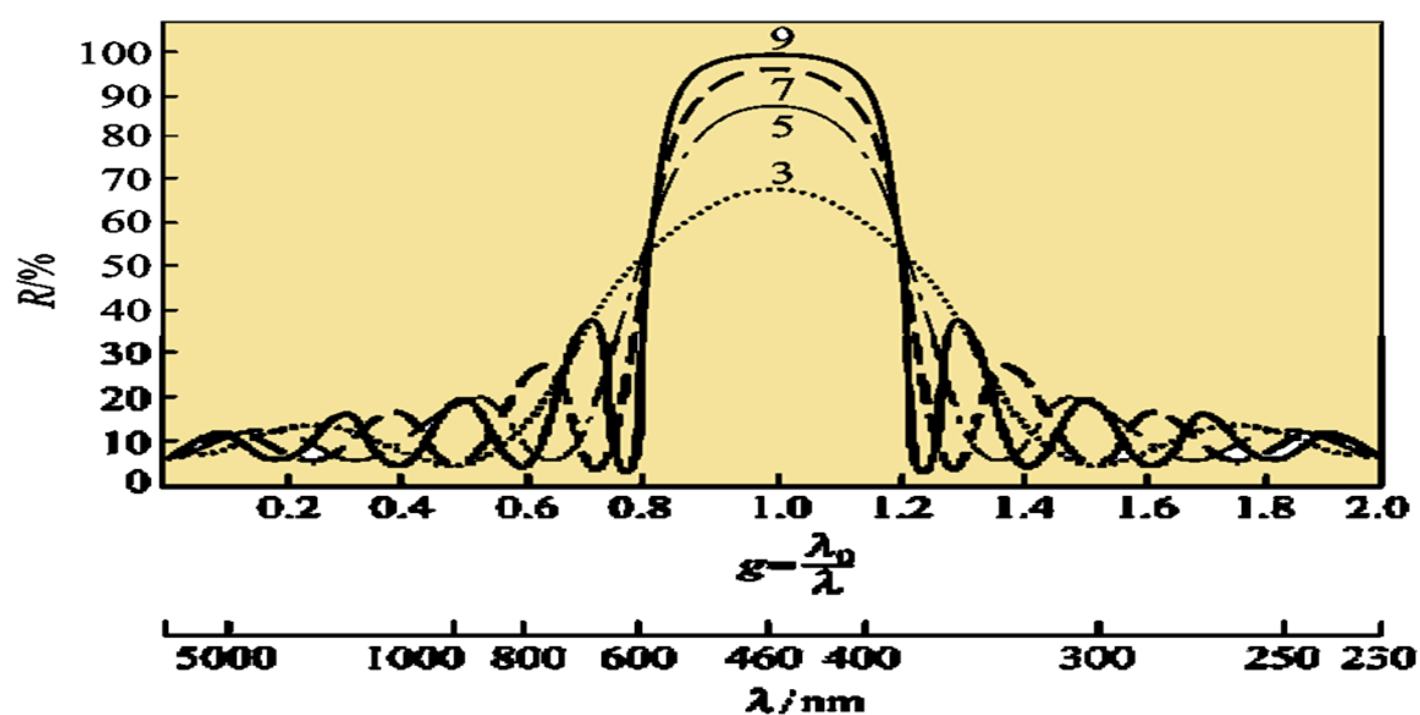
依次进行递推算法，则

$$n_{2p+1} = \left(\frac{n_H}{n_L} \right)^{2p} n_2, \text{ 对应的 } R_{2p+1} = \left(\frac{n_0 - n_{2p+1}}{n_0 + n_{2p+1}} \right)^2 = \left(\frac{n_0 - \left(\frac{n_H}{n_L} \right)^{2p} n_2}{n_0 + \left(\frac{n_H}{n_L} \right)^{2p} n_2} \right)^2$$

结论：高反膜镀奇数层； P 越大， R 越趋向于 1； $HL \cdots LH$ ，两外层为 H 层；只对确定的波长增反；因此，无论是单层光学薄膜还是

多层光学薄膜，都是利用光的干涉效应来增大反射率，因此，薄膜的性质与光的波长紧密相关。

薄膜的反射率都是对一定的中心波长 λ_0 而言的。如果入射光波的波长偏离中心波长，则反射率将随之改变。高反膜只在一定波长范围内产生高反射。所对应的波段称为该反射膜系的反射带宽。随着膜系层数的增加，高反射膜的带宽变窄。

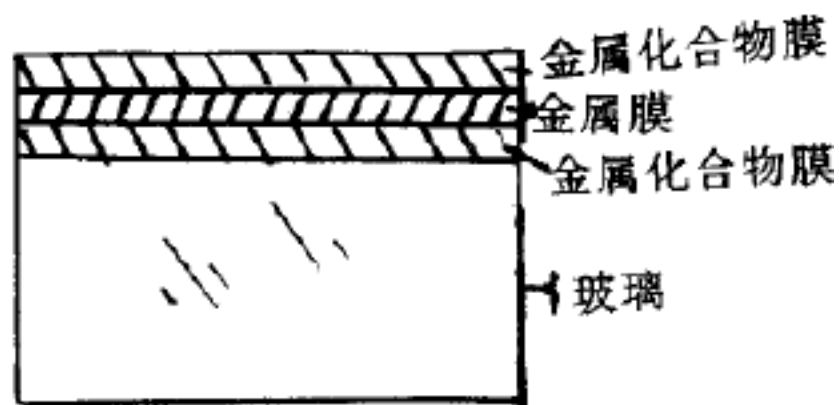


膜系的反射率随着膜系层数的变化

因此，可以知道，可以通过控制膜厚来控制来控制汽车玻璃透过的光线，通过控制薄膜的层数来控制对红外光线和紫外光线的透过。

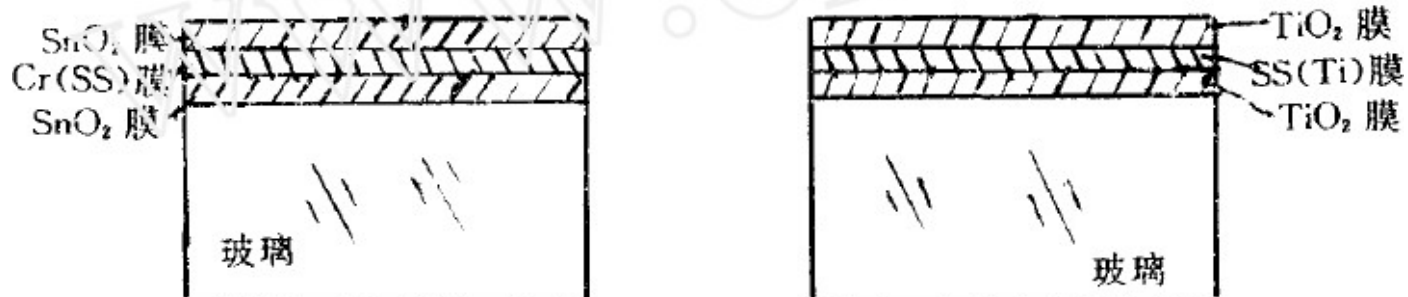
4 膜系的组成膜层

镀膜玻璃的膜系一般是由 1 层或多层组成（如下图所示）。这些薄膜主要由一定厚度的金属氧化物膜与金属膜构成，形成不同的膜系，光通过薄膜的干涉、散射、反射作用在玻璃面上得到不同波长的波的反射率和折射率。



膜系的基本构成

较高的可见光透射比，利于采光。不但具有低辐射性能，还有一定的颜色，是低辐射与热反射相结合的产品。



常见的膜系构成

4.1 金属膜

在膜系中，金属膜的主要作用是，提高玻璃的反射率。作为金属膜，其光学常数折射率为复折射率。做为薄膜时，折射率、消光系数与相同的金属不同，只有当膜达到一定厚度时，才会一致。金属膜具有反射率高，在一定厚度内对光有透射作用，截止带宽，中性好和偏振效应小等优点。但其吸收性大，由于光在金属膜中的散射，金属膜吸收的光也有大部分波长的光会发射出来。在金属膜中，除了束缚电子外，还有大量的自由电子，这些电子在电场的作用下能在金属中移动，导致发热而产生光的吸收。因此光在金属传播过程中会产生光的衰减。因此，在保证透光率而提高反射率时，可在金属膜上加镀一层或几层介质膜来提高反射率。

4.2 常用金属膜

作为金属膜材料，成膜后要有一定的机械强度及稳定的化学性能，同时在制备单纯的金属膜外，还要能容易地制备成金属化合物。生产中常用的靶材金属有铬（Cr）、钛（Ti）、锡（Sn）、不锈钢（SS）、铝（Al）、银（Ag）等。

铬（Cr） 铬的耐腐蚀性好，因为铬的氧化物可以成为玻璃的组分而与玻璃牢固的结合，铬在可见光反射率R为50%左右。但是铬的吸收率较大，铬与氧反应生成 Cr_2O_3 膜，机械性能好，耐碱耐酸好，热稳定性好，铬不完全氧化时可做弱吸收膜。

钛（Ti） 钛的晶体结构为六方晶系，在高温下活泼，在不同反应气体下，颜色变化多端，钛膜有较高的反射率，也可作为金属膜与金属氧化物膜之间的“粘接剂”。

不锈钢（SS） 不锈钢膜为 bcc 立方晶系，不锈钢耐蚀性较好，有较好的反射率，可作为多层膜中的中间层，调整透射率。

银（Ag） 银膜在可见光及红外区的极宽波段内，具有很高的反射率，但银膜的附着力比较差，机械强度和化学稳定性也不太好，所以银膜要镀上一层保护膜。

4.3 化合物膜

在化合物膜系中常用玻璃基片上沉积第一层氧化膜，或最外层沉积化合物膜，对整个膜系起保护作用。化合物膜具有透光性好、化学稳定性好，尤其是在三层膜系中在第二层与第三层膜厚固定后，调整第一层氧化物膜如 SnO_2 、 TiO_2 膜的厚度，可以得

到不同反射色的颜色。

4.4 介质膜及半导体膜

介质膜及半导体膜在一定光谱区域内对光是透明的，能带理论上认为，介质膜的禁带很宽，价带中的束缚电子不能随意地通过禁带到达导带，所以它们中的大部分在光的可见区及红外波段都是透明的。半导体材料相对于介质材料而言，它们的禁带宽度要窄得多，光激发后价带中的价电子容易进入导带，所以它们的短波吸收限移向长波，它们一般在近红外和红外区透明。下图为介质膜和半导体膜的典型透射光谱曲线。

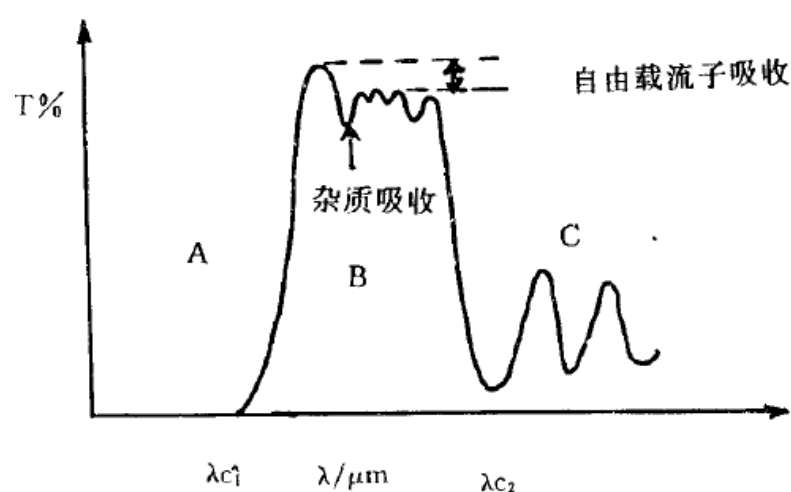


图 3

介质膜和半导体膜的典型透射光谱曲线

A 区是短波截止带，在该区产生强烈吸收的原因是当光子能量大于禁带宽度时，价带中的电子吸收光能量被激发到导带中所致，这种激发取决于材料的电子结构，依赖于波长，波长越短激发越容易，所以短波形成吸收截止带。由于介质材料的禁带比半导体宽，造成这种激发比半导体难，因此一般介质膜的短波吸收截止比半导体要短得多。吸收限 λ_{c1} 与折射率之间存在着近似关系

$$n^4 / \lambda_{c1} = \text{常数}。$$

B 区是透明区。在该区中光量子的能量不足以使价电子激发，此时除了少量杂质吸收或自由载流子吸收外，没有其他吸收能量的机理，因此呈透明区。显然B 区的吸收大小由材料的化学纯度决定，在生产中与真空的压力反应气体的分压强有关。

C 区是长波吸收带。长波吸收的原因是晶格振动吸收。

为了达到在不同的光波波长范围内对光的反射效果，必须采用介质膜和金属膜或化合物膜复合的方式，来达到对特定光波的反射和吸收的目的。因为每种膜材的折射率不同，因此采用高低折射率交替的方式，每层 $1/4$ 波长厚的介质多层膜能够得到较高的反射率。

4.5 低辐射（Low-E 玻璃）

低辐射（Low-E，是 Low Emissivity Glass 的简写）玻璃，根据国家标准是指辐射率 $E < 0.15$ 同时对大多数可见光线有较强的透射性能的玻璃。通过在浮法玻璃基片上镀上具有低辐射特性的功能膜，来降低玻璃表面的辐射率。按照工艺主要分为在线低辐射玻璃和离线低辐射玻璃。

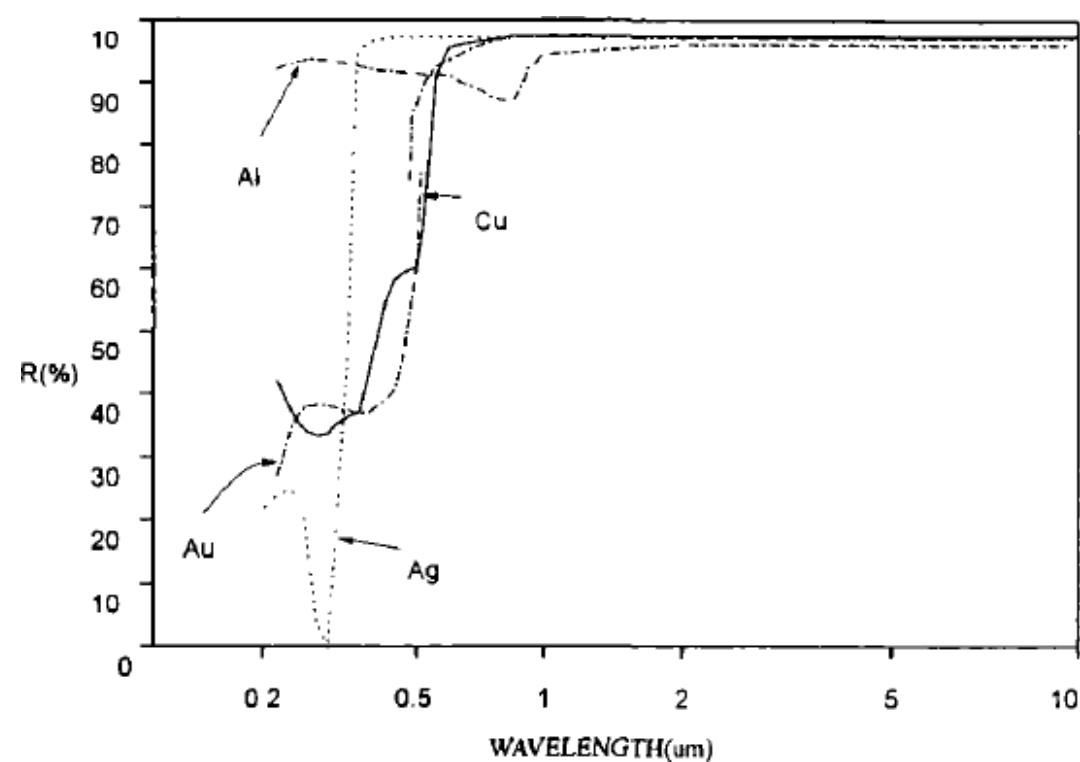
从低辐射镀膜玻璃的膜系结构来看，目前主要分为两类体系：一种是以电介质/金属/电介质为主构成的多层复合膜；另一种是以掺杂宽禁带半导体（如 ITO、SnO₂）为主的单层膜。

4.5.1 电介质/金属/电介质多层复合低辐射玻璃

以电介质/金属/电介质为主的多层复合低辐射膜玻璃已成为世界上最为广泛使用的低辐射玻璃，其膜层材料通常用磁控溅射法制

得，相比于半导体单层膜，它具有更优异的低辐射性能，辐射率一般小于 0.15，但其设备投入量大，原材料价格较为昂贵，生产成本较高。

金属层在多层低辐射体系中起关键作用，它决定整个膜系的辐射率，并直接影响膜系的透射比和反射比。一般采用金、银、铜、铝等金属元素作为该膜层的材料。下图为不同金属薄膜的反射率曲线图。



几种金属薄膜的反射率曲线

从生产成本考虑，用银、铜、铝更经济些。银的抗氧化性比铜铝要好些，通常用银作为该金属层的材料，但由于银膜质地软，易划伤，且与玻璃基板的结合力差，加上在空气中易受水汽腐蚀，因此银膜两侧需加介质层起保护作用。

低辐射膜系的金属层厚度一般在 9nm-18nm 之间。通常金属膜薄到 20nm 以下时，对光的吸收和反射都会减少，呈现出良好的透光性，但如此小厚度的金属膜容易形成岛状结构，从而表现出比平滑的连续膜高的电阻率值，其吸收率一般也变高，从而红外反射率降低，辐射率增高。为避免出现这样的结构，在沉积银膜前先沉积一层氧化物或金属薄层就更显必要。

介质膜的材料一般是透明金属氧化物如 SnO_2 、 ZnO 、 TiO_2 等或类似材料如 Si_3N_4 等。适当设计上下层膜的不同折射率和光学厚度，使膜面减反射，能够使可见光的透射率得到提高，同时又对银膜具有保护作用。在理论上对低辐射膜进行光学设计，得到辐射率接近理论极限的膜系为：玻璃// BiOx // 12nmAg // AlNx //空气。

另外，在银膜与外层氧化物介质膜之间通常加入很薄的一层金属或合金膜（ Ti 或 NiCr 等）作为遮蔽层，其作用是防止银膜被氧化，否则会导致膜层低辐射性能的完全丧失。

根据膜系结构和性能的不同，金属基低辐射玻璃可以分为单银低辐射玻璃、双银低辐射玻璃和阳光控制玻璃。

（1）单银低辐射玻璃

单银低辐射玻璃常见的膜系类型有 ZnO // Ag // ZnO SnO_2 // Ag // SnO_2 、 TiO_2 // Ag // TiO_2 、 Bi_2O_3 // Ag // Bi_2O_3 等等。许多低辐射膜系采用 ZnO 做介质膜，因为 Zn 的溅射率高，而且价格便宜，但 ZnO 的抗湿气能力较差，在高湿度环境下长时间放置，膜面会出现白斑。出现白斑的主要是由于 ZnO 层和 Ag 层之间的剥落，其原因是表层 ZnO 中较大的内部应力与 Ag 层之间附着力的降低，导致了 Ag 粒子在高湿度下团聚。在 ZnO 靶中掺入 $2.1\text{wt}\%\text{Al}$ ，并用高压溅射能减少应力，提高 Ag 层与 ZnO 层的附着力，有效防止该膜在湿环境下的破坏。

普通的 Ag 基低辐射膜经不起高温热处理如热弯曲或热强化，当温度高于 350°C 时就容易受到破坏。在 Ag 层与介质层之间加入附加稳定剂层，能有效防止膜在热处理过程中的破坏，这样可以使低辐射

玻璃满足更广范的需求。如汽车的挡风玻璃。 Cr_2O_3 、 SiO_2 、 Al_2O_3 等已经被证明能做稳定剂，但膜层的厚度较大。有些金属如W、Ta、Fe、Ni能够在热处理过程中不易被氧化，并不与Ag层互溶，是较为理想的稳定剂膜层材料。这种低辐射玻璃能经受弯曲、压薄等热处理，并且膜层不易受到破坏。

(2) 双银低辐射玻璃

双银低辐射膜系是在单银膜系基础上的进一步发展，任一单银膜系均可扩展为双银膜系，其典型结构为玻璃//介质//Ag//屏蔽层//介质。在生产中每层的控制都很严格。双银膜系的牢固性较差，较难加工处理。但双银低辐射性能优越，它具有更低的辐射率，可使整个膜系的辐射降低至理论极限值，同时具有较低的太阳光透射比和较低的U值，并保持较高的可见光透射比，如氧化锌双银辐射玻璃的可见光透射比可达75%-80%，太阳光透射比为41%左右，辐射率为0.035-0.045。因此，双银低辐射玻璃在冬天有很好的隔热保温效果，在夏天又有良好的太阳能遮蔽作用，可广泛适用于中高纬度地区。

4.5.2 半导体单层膜低辐射玻璃

半导体单层膜低辐射的膜材料主要为具有可见光高透射，红外高反射性能的半导体材料。掺杂宽禁带半导体如 SnO_2 、 In_2O_3 、 CdO 、 ZnO 和 Cd_2SnO_4 等具有这种性能，得到广泛应用。掺杂禁带半导体如 SnO_2 、 In_2O_3 、 CdO 、 ZnO 和 Cd_2SnO_4 等具有这种性能，这些材料都属于n型半导体，其载流子浓度N的值为 10^{18} - 10^{20}cm^{-3} 。一般处于简并或接近简并状态，霍尔迁移率 μ_H 为 10 - $100\text{cm}^2/(\text{V} \cdot \text{s})$ 左右，由

离子化杂质的扩散状况而定，电阻率大约为 $10e^{-3}$ — $10e^{-4}$ ，但如果杂质超过一定值，就会损坏膜的结晶性，反而导致 N 减少，电阻率增大，低辐射性能受到破坏。

4.6 镀膜常用化合物

低辐射玻璃膜层主要体系有银膜体系，包括单银和双银膜系。

SnO_2 基薄膜、掺铟的 SnO_2 薄膜简称为ATO；掺氟的 SnO_2 薄膜简称为FTO； In_2O_3 薄膜简称ITO； ZnO 基的薄膜，其中掺铝的 ZnO 薄膜简称ZAO，目前最好为 ZnO 系薄膜。

4.6.1 SnO 膜。

该膜可通过喷涂法、CVD 法、真空蒸发法和溅射法制得，一般是采用热喷涂法，其优点是设备便宜、工艺简单，但工艺控制比较困难。在热处理过程中 SnO_2 产生氧空穴，导致化学计量不平衡，使 SnO_2 具有导电性。在 SnO_2 中掺入F、Sb 或 P 等离子施主掺杂，能大幅提高 SnO_2 膜的电导率。其中掺F 的 SnO_2 膜主要通过热喷涂或 CVD 法制备。由于膜厚的不同， SnO_2 表面会产生不同干涉色，不理想的干涉色能通过玻璃基板和 SnO_2 膜之间添加中间膜层来消除。如折射率为 1.7，厚度为 70nm 的中间膜层可以消除 SnO_2 膜低辐射玻璃表面的油污状干涉色。该中间膜层能够由 CVD 法沉积硅锡氧化物得到，通过调节硅锡组分比，使膜层的折射率为1.7.另一种消除干涉色的方法是先在玻璃基板上沉积一层 25nm 的 SnO_2 膜，然后再沉积一层 25nm 厚的 SiO_2 膜，最后再覆盖 $SnO_2:F$ 膜层，这不需要对膜层组分进行调节。

同时在 SnO₂ 薄膜和玻璃基板之间添加中间层也起到阻挡作用，所用阻挡材料为 SiO₂ 或 TiO₂。在 Na—Ca 玻璃衬底上加热，Na⁺、K⁺ 离子扩散进入 SnO₂ 薄膜，形成受主杂质捕获 n 型载流子，会严重影响薄膜的导电性，而在玻璃基板表面预先镀一层阻挡层能大大缓解 Na⁺、K⁺ 离子的扩散。

4.6.1 ZnO 膜

该膜是可以作为主要功能膜的种子膜层。这是由于 ZnO 膜具有光滑的特性，能使上面的膜更均匀，提高功能膜的性能，增强膜系的透过率和辐射率。缺点:1) 抗酸碱能力有限；2) 由于增长结构的原因，材料容易扩散；3) 抗刮伤能力有限（但合格）。

在 ZnO 中掺入 Ga、Al、In 或 F 离子能够改善 ZnO 膜的光学、电学性能。在用磁控溅射制 ZnO 膜时，在 ZnO 靶材中掺入 20wt% 的 Al₂O₃，能够使膜的电阻率降低至 $2 \times 10^{-4} \Omega \text{ cm}$ ，可见光透过率在 80% 以上。

4.6.2 Si₃N₄ 膜

1) 在所有材料中，它的耐酸碱性最好；2) 最好的扩散层，适用于半导体行业；3) 与镀有镍铬的银层之间有足够的附着力；4) 抗划伤最好；5) 可直接镀于玻璃面上作为钠离子阻挡层；6) 与银层的亲和力非常差。

4.6.3 TiO 膜

1) 具有足够的耐酸碱性；2) 能够用作扩散层；3) 与镀有钛阻挡层的银层之间有良好的附着力；4) 高折光指数意味着因刮擦而引

起的膜层厚度微小变化会显示较大的光学影响（不太适宜做顶层电介质层）；5）具有较好的折射率，能改善透光率（适宜做底层电介质层）。

4.6.4 Nb₂O₅ 膜1）具有较好的折射率，能改善透光率（适宜做低层电介质层）；

2）沉积速度快，但价格太贵，一般不用。

4.6.5 Bi₂O₃ 膜

1）具有较好的折射率，能改善透光率（适宜做低层电介质层）；2）沉积速度快，但靶材的加工制造困难；3）可靠性存在问题；4）沉积工艺难；5）仅用于 Interpane 的专利工艺。

4.6.6 NiCr 膜

1）是银层和SnO 或 Si₃N₄ 之间具有良好附着力的必须；2）可做钠离子的阻挡层，是银层很好的保护层；3）缺点是吸收性太强。

4.6.7 ITO 膜1）

既能导电，透明性又好，是最好的玻璃镀膜材料，缺点是价格太贵；2）优良的阻挡层；3）一般作为显示器的镀膜材料。

4.6.8 其他

1）Al₂O₃，HfO₂，Pr₂O₃、MgO 膜，一般应用于光学镀膜，少用于玻璃镀膜；2）SiO₂：一般用于反反射膜，少用于玻璃镀膜（反反射膜是指镀上膜以后，不会反光，看不清楚）；3）ZrO₂、Ta₂O₅、CeO₂ 膜：一般少用于玻璃镀膜。

5.常见的几种膜系及特点

5.1 阳光控制膜/TS、TE 系列

5.1.1 膜系构成：玻璃//TiN//空气

5.1.2 特点：1)容易生产，色差难控制，化学稳定性差；2)颜色：银白色、蓝色和棕色；3)透光度：10%-40%；4)G 值 0.2-0.5。

5.2 阳光控制膜/SS 系列

5.2.1 膜系构成：玻璃//SS//TiN//空气

5.2.2 特点：1)容易生产，色差难控制，化学稳定性差；2)颜色，银白色；3)透光度：8%-20%；4)g 值 0.2-0.3。

5.3 阳光控制膜（欧洲市场流行的膜系）

5.3.1 膜系构成：玻璃//SnO₂//(CrNx/Ni CrNx)//Si₃N₄//空气

5.3.2 特点：1)造价高，抗磨损；2)颜色，银白色、蓝色、金色和棕色；3)透光度：8%-20%，4)g 值：0.2-0.3。

5.4 阳光控制膜/可热处理的膜系

5.4.1 膜系构成：玻璃//Si₃N₄//TiO₂//(CrNx/Ni CrNx)//Si₃N₄//空气

5.4.2 特点 1)造价高；2)颜色，银白色、灰色、蓝色、绿色和棕色；3)透光度：8%-40%；4)可钢化，且颜色不会变化；

5.5 标准 Low-E 膜

5.5.1 膜系构成：玻璃//TiO₂//ZnO//Ag//NiCrOx//Si₃N₄//空气

5.5.1 特点:1)透光度：83%；2)E 值：<0.06；3)g 值：0.55-0.6。

5.6 阳光 Low-E 膜

5.6.1 膜系构成：玻璃//TiO₂//NiCrOx//Ag//NiCrOx//Si₃N₄//空气

5.6.2 特点：1) 透光度：48%；2) E 值<0.1；3) g 值：0.5-0.55；

5.6.3 类似膜系：玻璃//TiO₂//NiCr//Ag//NiCr//Si₃N₄//空气

5.7 可钢化Low-E 膜

5.7.1 膜系构成：玻璃//TiO₂//NiCrOx//TiO₂//Ag//NiCrOx//Si₃N₄//空气

5.7.2 特点：1) 透光度：82%；2) 颜色：银白色、灰色、棕色、蓝色和绿色；3) E 值：<0.06；4) g 值：0.55-0.6。5) 所有膜层的热工性能稳定，能够承受 700℃的高温；6) 有效抑制钠离子扩散，银层不易氧化和硫化；7) 顶层膜具有足够的抗化学和机械的能力，可防止机械损伤和化学破坏。

5.7.3 其他两种可钢化膜系

a)玻璃//Si₃N₄//NiCr//Ag//NiCr//Si₃N₄//空气；

b)玻璃//Si₃N₄//TiO₂//NiCr//ZnO//Ag//NiCr//SnO//Si₃N₄//空气；

5.8 双银 Low-E 膜

5.8.1 膜系构成： 玻璃 //TiO₂//ZnO//Ag//NiCrOx//TiO₂//ZnO//Ag//NiCrOx//Si₃N₄//空气；

5.8.2 特点：1) 透光度:75%；2) E 值<0.04；3) g 值：0.4-0.5。

5.8.3 其他双银膜系：玻璃//ZnO//Ag//Ti//ZnO//Ag// Ti//ZnO//TiO₂。

5.9 在线镀Low-E 膜膜系：玻璃//SnO₂:F//(SiO₂/SiO)//空气。

5.10 膜系各膜层介绍

膜系可以看到它们的各个性能是不同的，每一种膜系的性能是取决于它内部每一层的性能、厚度及排布决定的。下面从膜层的功能来描述。

5.10.1 底层电介质层

1) 决定银层的生长情况；2) 用于降低银层的反射率；3) 阻挡钠在钢化过程中从玻璃扩散到膜层中；4) 通常材料为 ZnO、SnO、TiO 以及其混合物。

5.10.2 主要功能层（银层）

1) 着床形式决定了银层的质量；2) 厚薄及质量决定了辐射率；3) 较薄的连续性结构可在相同的辐射率的情况下具有更高的透过率。

5.10.3 阻挡层

1) 保护银层免受沉积过程中等离子体的破坏；2) 保护银层免受钢化过程中氧气和其他污染物的侵袭；3) 通过影响银层和顶层电介质之间的附着力来改善膜层的耐磨性。

5.10.4 顶层电介质层

1) 与最后的银层间的附着力对耐磨性的影响非常大；2) 决定膜系的耐刮伤性、耐磨性和耐化学侵袭性。

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：
<https://d.book118.com/145330302034011142>