

**AEROXIDE®** 气相法氧化铝  
和 **AEROSIL®** 气相法氧化硅  
在照明领域的应用

TI 1283



## 引言

AEROSIL®气相法二氧化硅和 AEROXIDE®气相法氧化铝产品具备一系列物化性能，使其在照明领域获得广泛应用。其中下列性能尤为突出：

- 极细的原生粒径
- 表面电荷
- 静电性能
- 光学性能, 特别是折射指数
- 次级结构（团聚体）
- 高纯度
- 低含水量

AEROSIL®和 AEROXIDE®产品是采用气相水解法所制备的，拥有独特结构的材料，详见图1。

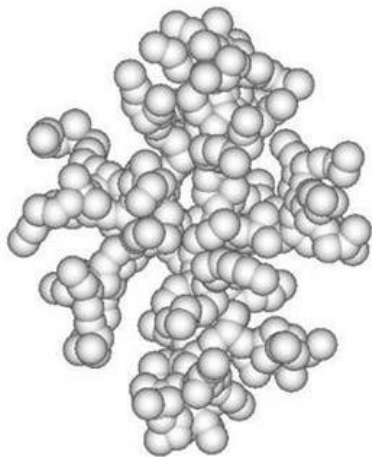


图 1:气相法氧化物的计算机模型

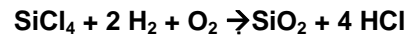
这种独特结构使AEROSIL® 和AEROXIDE® 产品在光源产品中有不同的功能，而这些功能是采用其它材料或技术手段很难或甚至根本不可能达到的。因此，它们是现代照明工业不可缺少的组成部分。

AEROSIL®气相法二氧化硅和 AEROXIDE®气相法氧化铝产品同时起到以下功能：

- 作为无机粘合剂
- 作为汞扩散阻挡层
- 作为消光剂
- 作为选择性紫外线反射材料
- 用于优化光输出
- 用于微调光谱光分布
- 作为制备发光材料的原料

### 制备与性能

AEROSIL® 气相法二氧化硅是一种合成的无定形二氧化硅，它是通过在氢氧焰中水解氯硅烷制备的，其化学反应式如下：



60多年前，赢创工业集团开发了这种制备方法，之后这种方法又得到不断的完善和发展。由于采用火焰水解法进行生产，AEROSIL® 被称为热解二氧化硅或者气相法二氧化硅，鉴于其粒子极其细小，它也被称为高分散二氧化硅。采用AEROSIL®方法也可制备如氧化铝、氧化钛、氧化锆等金属氧化物，只要具有可蒸发的起始原料即可。赢创德固赛公司将这些产品以商标名AEROXIDE®投放市场。用于氧化铝制备的反应公式如下：



赢创公司还制备各种混合氧化物。

### 高纯度

赢创公司使用的原料完全出自化学过程，并且纯度很高。SiO<sub>2</sub>含量的超过99.8%（重量百分比，以燃烧后物质计）使得AEROSIL®成为市场上可购获的最纯的二氧化硅之一。AEROXIDE® 氧化铝的纯度同样超过99.8%，重金属的含量一般低于常规分析方法的检出极限。

### 多样化产品品种

不同等级的AEROSIL® 气相法氧化硅和AEROXIDE®气相法氧化铝能够满足不同的技术要求。如AEROSIL® OX 50的比表面积仅为50 m<sup>2</sup>/g，而AEROSIL® 380的比表面积几乎有八倍之高。最有名的产品AEROSIL® 200的比表面积为200 m<sup>2</sup>/g。AEROSIL® 和 AEROXIDE® 的表面化学性质和颗粒结构也可以改变。

例如，可通过与有机硅化合物进行化学反应在AEROSIL® 和AEROXIDE®的表面上化学固定二甲基硅基、三甲基硅基或聚二甲基硅氧烷基团。用这种方式进行表面改性的产品实例有AEROSIL® R 972、AEROSIL® R 812 S 以及AEROXIDE®C 805。

赢创还提供气相法二氧化硅和金属氧化物的水分散液产品，其商标名为AERODISP®。

### 精细结构

AEROSIL® 气相法二氧化硅以及AEROXIDE® 气

相法氧化铝均为白色的细微轻粉，不同等级的产品，由大约7至40纳米大小的原生颗粒组成。

原生颗粒不是孤立存在的，而是团聚成有几百纳米大小的稳定的聚集体。

聚集体又再组合成松散的微米大小的附聚体，这些附聚体在使用时很容易重新分散开来。

## 荧光灯

这一部分将解释和介绍AEROXIDE®气相法氧化铝在荧光灯(如节能灯、荧光灯管)中的多种功能，这些荧光灯不象传统的灯泡那样靠灯丝发光，而是一种用电点燃并保持发光的等离子体<sup>1</sup>。绝大多数的荧光灯采用在波长为254纳米处激发的汞蒸气等离子体。这种紫外光肉眼看不见，必须要借助荧光材料(“荧光粉”)<sup>2</sup>将其转变为可见光。

为了获得白光，不同荧光材料组成的混合物作为薄层涂覆在荧光灯管的内表面。这是最简单最基本的荧光灯等管。AEROXIDE®气相法氧化铝能够十分有效的提高这些灯的性能：

▶ 荧光材料相互间以及和玻璃表面的粘合差，因为它们表面均带负电荷。在此，表面带正电荷的氧化铝可作为有效的、在操作条件下**稳定的无机粘**



<sup>1</sup> 等离子体是一种由自由电子和阳离子形成的离子化气体。

<sup>2</sup> 用于这种荧光材料的“磷光”这个概念主要在英语国家被普遍接受，尽管化学元素“磷”和磷光的物理效应均不符合这个概念。这种效应所利用的是特殊的磷光性颜料受到如紫外线的激励下以另一种特定的颜色发光的机理。从化学角度看，这种颜料通常是掺杂了稀土金属的氧化物、硅酸盐(酯)或其它无机材料。

**合剂**。在玻璃管与荧光材料层之间的独立的氧化铝层不仅有助于粘合，并实现其它一些重要作用(参见下文表述)。

▶ 为了尽可能提高荧光灯的效率，应将产生的所有紫外光转变为可见光，因为未转化的紫外光均被玻璃管吸收并在那里转换为热能。为了提高效率可加厚荧光材料层，使紫外光留在灯管内；然而这样还使得所生成的可见光也不能以理想的程度离开灯管。应用AEROXIDE®气相法氧化铝作为**选择性紫外线反射材料**，这个解决方案要比优化荧光材料层的厚度的方案好得多。参见下文表述。

▶ 未应用气相法氧化铝的灯管不断有少量的水银扩散到荧光材料层和玻璃管内，这使得玻璃管随着时间的推移变为灰色。这种变灰效应影响了光输出：首先产生紫外线所需要的汞减少了，其次灰色的灯管会吸收更多可见光并将其转换为热。为了弥补这些损失，似乎必须增加汞的用量并提高功率，但这会导致灯管更热，从而进一步加剧上述效应。AEROXIDE®气相法氧化铝作为有效的**汞扩散阻挡层**，可将所需的有毒重金属减少到最低限度，同时还可延长灯的使用寿命。

AEROXIDE®气相法氧化铝在荧光灯中同时起到了三种不同的功能，使其成为高端荧光灯产品设计的一个必不可少的组成部分。氧化铝作为无机粘合剂和汞扩散阻挡层的功能显而易见，但其特殊的光学性能还需进一步详细说明。

## AEROXIDE®气相法氧化铝作为选择性紫外线反射材料

气相法氧化铝在很大的光谱范围内，即从远紫外到可见光直至红外线范围，是光学透明的。也就是说，任何波长的光均可无能量损失地通过氧化铝晶格，不会出现吸收及光转换为热的现象。与此相反，因为玻璃的成分主要是二氧化硅，所以会吸收紫外光。

事实上气相法氧化铝粉呈白色不透明，其原因在于在颗粒和空气的界面上发生的光散射。光散射特性以及原生颗粒大小和聚集体结构使得AEROXIDE®气相法氧化铝成为一种近乎完美的光学介质，即作为波长选择性紫外线反射材料。颗粒比光波波长 $\lambda$ 小得多的光散射符合瑞利散射定律，亦即相界散射光的强度与 $\lambda^{-4}$ 成正比<sup>3</sup>。图2清楚地显示出这种散

<sup>3</sup> 瑞利散射也是造成蓝色天空的原因。太阳光的蓝色部分在大气层中的小粒子上的散射要比其它部分强烈(参见图2)。在太阳较低时，即在日出和日落时这种效应更为明显，由于行程较

射特性的结果。

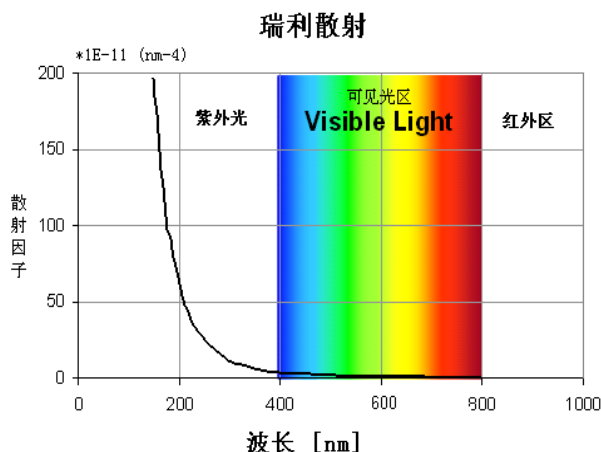


图 2: 根据瑞利散射定律散射光特性与光的波长之间的关系

尽管，散射因子在可见光范围各种波长的区别还很小，但在紫外线范围曲线却急剧上升。这意味着粒度相同的情况下，光的散射强度在254纳米处要比在500纳米（绿光）处高出16倍；比在800纳米（红光）处的散射强度高出甚至100倍。由此可以想象，在荧光灯管内紫外线在能够离开灯管以前要散射无数次，在灯管内侧的AEROXIDE®气相法氧化铝层对于紫外线来说就像是一个紧密的笼子，然而可见光则可通过。

紫外光在这个过程中并没有被消耗掉，而是继续激发发光材料发出可见光，从而再次提高了光输出以及荧光灯的效率。

AEROXIDE® 气相法氧化铝的特殊结构，使其成为特殊的高效的选择性紫外线反射材料。这种结构包括直径介于7 到20纳米之间的原生颗粒，在生产的过程中，这些原生颗粒形成稳定的直径超过100nm的团聚体，有利于光散射（见图1）。即使形成一层薄膜，团聚体没有被破坏，并保持这种结构。团聚体形成一个多孔网络，带有大量的具有散射功能的气体和颗粒表面的相界面。其它方法合成的氧化铝颗粒在形成涂层过程中表面积损失则很大。

上述效应甚至还可进一步得到增强，因为折射指数也是光波波长的一个函数。AEROXIDE® 气相法氧化铝的折射指数在589纳米处(Na D-Linie) 为1.69，且随着波长的变小而在254纳米处增加到大于1.8。

长，光线在通向我们的途中散射程度也大得多。最后到达我们这里的是相对增加了的散射最少的红色光部分。

## 采用AEROXIDE®氧化铝的荧光灯的典型构造

图三所示的荧光灯设计充分的阐述了AEROXIDE®气相法氧化铝在荧光灯中的三种功能。首先在玻璃管的内侧涂覆纯氧化铝层。适合这种应用的是水性的分散液，使用合适的分散设备可以生产。

AEROXIDE® 气相法氧化铝也提供分散液形式的产品，更加容易处理和使用。这是部分以AERODISP®为商标的分散液产品(参见产品一览表)。

根据灯的构造形式和其它限制条件，涂层的厚度约为3~5微米。

发光材料同样以分散液的形式涂覆在氧化铝层上面。该发光材料层在氧化铝层上的粘合明显优于在纯玻璃表面上的粘合。

为了增强发光材料层的粘合力或者说氧化铝的无机粘合剂功能，要把氧化铝很好的混合到荧光材料层中。典型的加入量为2-5%wt。

在涂覆工艺中，分散液可采用有机溶剂体系(如醋酸丁酯)或水性分散体系。为了提高涂膜工艺的可操作性和涂层间的粘合强度，可在分散剂中添加聚合物添加剂(如纤维素衍生物、聚乙二醇等等)。为了实现涂层厚度均匀，须精确调节分散剂的流变性能并使用标准化的干燥条件。

最后的步骤是在接近玻璃软化点(~600°C)的温度下在电炉中烘烤涂层。这时涂层的有机组分高温分解，只剩下AEROXIDE®气相法 氧化铝作为无机粘合剂牢固地将各个涂层以及涂层和玻璃灯管粘结在一起。仍然很热的灯管(约500°C) 被传送到下一步装配工序

## 其他应用

### 白炽灯

传统的白炽灯也同样利用气相法氧化物的性能。通常采用氢氟酸进行内侧面消光已逐步被采用超细粒子的消光法取代。成本和环境保护是该技术革新主要的推动力。静电涂层法现在仍是对还很热的玻璃灯泡进行消光的主要工艺。

使用AEROSIL®气相法二氧化硅，或者与其它材料，如有色颜料混合使用，也可用来消光。AEROSIL®产品水含量很低，不仅使这种工艺易于实现而且延长了白炽灯的使用寿命。特别易于使用的是AEROSIL® COK 84，它是气相法二氧化硅和氧化铝的混合物，具有特殊的静电特性。



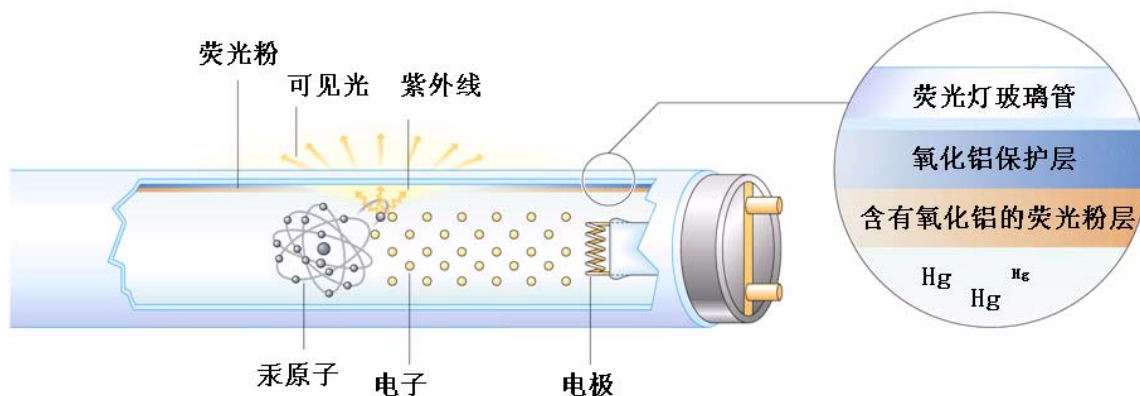


图3: 荧光灯的构造 (资料来源: Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry)

## 高纯原料

由于采用高纯氯硅烷制备，AEROSIL® 气相法二氧化硅也特别适宜作为原料用以制备硅酸盐系的发光材料。我们可以向客户提供一种特别易于使用的产品，AERODISP® W 7215 S就是其中之一，它是一种水性分散体，采用特别细致的分散过程使其纯度得以优化，它的铁含量小于1ppm (百万分之一)，其它所有微量金属的总含量同样低于1ppm。

## 参考文献

- ▶ W. J. van den Hoek et al. (Philips Lighting B.V.), "Lamps" in *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry*, 10. Aufl. (2002), DOI: 10.1002/14356007.a15\_115.
- ▶ M. Zachau, A. Konrad (OSRAM GmbH), "Nanomaterials for Lighting", *Solid State Phenomena Vols. 99-100* (2004), pp. 13-18.
- ▶ R. H. French et al. "Optical Properties of Aluminum Oxide...", *J. Am. Ceram. Soc.* Vol. 81 (1998), pp. 2549-2557.
- ▶ Technical Bulletin Fine Particles, No. 56 "Highly Dispersed Metallic Oxides Produced by the AEROSIL® Process", Company Publication (Degussa).

## 产品目录， 物理化学数据

### a) 用于荧光灯中AEROXIDE® 气相法氧化铝产品

产品名称	AEROXIDE® Alu 65	AEROXIDE® Alu C	AEROXIDE® Alu 130
比表面积	65 m <sup>2</sup> /g	100 m <sup>2</sup> /g	130 m <sup>2</sup> /g
晶型	θ、γ 少量的 δ	33%δ 和 66%γ	γ
比重	约 3.2g/cm <sup>3</sup> (取决于灼烧损失)		
pH 值(4%wt 分散液)	4.5 - 6	4.5 - 5.5	4.5 - 6.5
灼失 (1000°C 2 小时)	<3.0 wt. %		
折射指数, η	1.69		

### b) 各种AEROXIDE® 气相法氧化铝的分散液

产品名称	AERODISP® W440	AERODISP® W630	VP DISP. W630X
固体含量	40%	30%	30%
pH 值	3-5	3-5	3-5
外观	白色, 乳状分散液		
中位粒径	~120nm	~140nm	~70nm
表面电荷	+阳离子 (正电荷)		

### c) 白炽灯消光用AEROSIL® 气相法氧化硅

产品名称	AEROSIL® 200	AEROSIL® R972	AEROSIL® COK84
比表面积	200m <sup>2</sup> /g	110 m <sup>2</sup> /g	185 m <sup>2</sup> /g
化学成分	SiO <sub>2</sub>	SiO <sub>2</sub>	SiO <sub>2</sub> /Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
碳含量	-	0.6 -1.2%	-
pH 值(4%wt 分散液)	3.7 - 4.7	3.6 - 4.4	3.6 - 4.3
灼失 (1000°C 2 小时)	≤1.0%wt	≤2.0%wt	≤1.0%wt

给出的数据为典型值而非生产参数。

开发中的产品带有VP标识，这些产品的商业化取决于市场的反馈。即使这些产品可以大量生产，也要先证实未来市场的可行性。

我们许多在这里没有列出的产品同样适用于照明工业的应用，您可以在我们的产品一览表以及我们的各种技术文献中获取有关信息。请向我们垂询我们开发的最新产品。我们的网页也是最新信息来源之一。  
[www.aerosil.com](http://www.aerosil.com).

AEROSIL®, AEROXIDE® 和 AERODISP®  
都是赢创德国赛有限公司注册的商业商标。



**欧洲/中东/非洲  
/拉丁美洲**

**Evonik Resource Efficiency GmbH**

Business Line Silica  
Rodenbacher Chaussee 4  
63457 Hanau  
Germany

电话: +49 6181 59-12532  
传真: +49 6181 59-712532

[ask-si@evonik.com](mailto:ask-si@evonik.com)  
[www.evonik.com](http://www.evonik.com)

**北美自由贸易区**

**Evonik Corporation**

Business Line Silica  
299 Jefferson Road  
Parsippany, NJ 07054-0677  
USA

电话: +1 800 233-8052  
传真: +1 973 929-8502

[ask-si-nafta@evonik.com](mailto:ask-si-nafta@evonik.com)

**亚洲/太平洋地区**

**Evonik (SEA) Pte. Ltd.**

Business Line Silica  
3 International Business Park  
#07-18, Nordic European Centre  
Singapore 609927

电话: +65 6809-6877  
传真: +65 6809-6677

[ask-si-asia@evonik.com](mailto:ask-si-asia@evonik.com)