

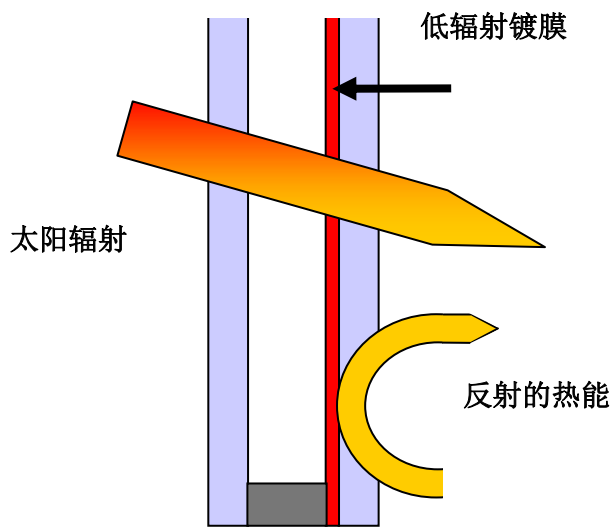
作者： Ulrich Bauereiß, Dr. Schenk GmbH Industriemesstechnik

光学质量保证和工艺控制 以低辐射玻璃生产为例

1. 引言

在现代产品中，镀膜玻璃往往起着重要作用。玻璃上的导电镀膜作为无形的导电层，适合应用于薄膜太阳能模块、电致变色玻璃或液晶显示器等高科技产品。薄膜太阳能模块中的导电层可由 TCO（透光导电氧化物）或钼制成，视模块技术不同而定。为优化能量输出，人们越来越多地在太阳能模块前表面上镀上一层抗反射镀膜，从而大大提高抵达光伏层的光总量。

能源消耗增加与全球变暖的关系已经成为全球议题。受此推动，在建筑和汽车行业采用低辐射玻璃也变得越来越重要。低辐射玻璃反射热辐射，从而减少建筑物与外界之间的热传递，节省热能。这些镀膜经设计，可减少与外界的热传递，同时使太阳光和热辐射进入建筑物内部。低辐射镀膜与抗反射镀膜的结合提供了更多可能阻止热传递的方法，实现了在穿越玻璃板过程中无任何热能损耗。



此外，可变换玻璃镀膜（电致变色玻璃）等更复杂的镀膜适用于控制建筑物内部的光和热传递。

图 1：带有低辐射镀膜的玻璃板

2. 玻璃生产和镀膜概述

在制成玻璃板（如建筑用）之前，原玻璃要经过以下几个生产步骤：

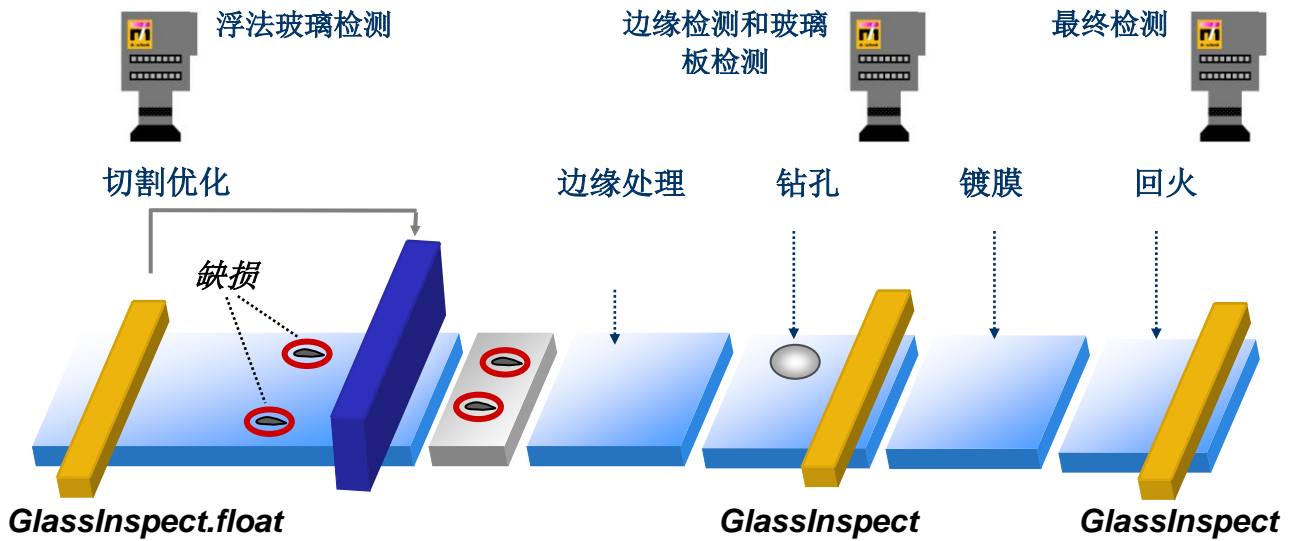


图 2：从浮法玻璃到镀膜玻璃板的生产步骤

生产工艺的早期即需进行光学质量控制，从检测浮法工艺玻璃带的不规则性开始。通过切除玻璃的缺损部分，可去除气泡、结石和其他杂质等材料缺损。

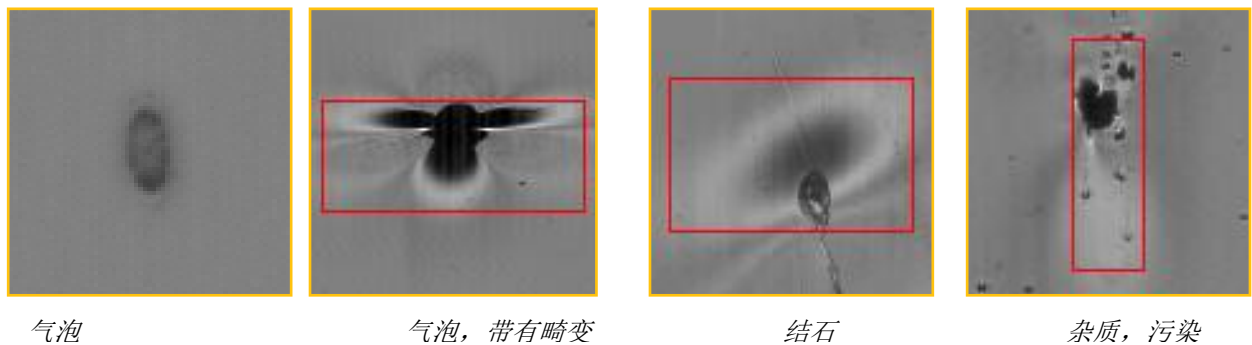


图 3：典型的玻璃缺损，如气泡、杂质、结石等。

在随后的生产步骤中，必须对工艺进行控制，以确保达到所需产品质量要求，并实现高产出。控制边缘处理和钻孔工艺中的缺陷（如玻璃内的裂缝），以避免在之后的生产步骤（考虑到回火时的热应力）或在建筑物的最终使用中损坏玻璃。

下面详细讨论了光学质量保证和镀膜工艺控制。

3. 镀膜工艺

有几种方法可以沉积玻璃板镀膜 [1] [2]:

- 气相沉积:
 - PVD – 物理气相沉积 (包括溅射)
 - CVD – 化学气相沉积
- 电化学沉积
- 喷镀或液体镀膜
- ...

溅射镀膜 (“软膜”, 磁控溅射真空镀膜, MSVD), 可实现超薄耐用镀膜; 这种方法为人们所普遍使用。然而, 由于喷镀或液体镀膜具有无需使用昂贵的制备真空设备优势, 它们正在迎头赶上。

在显微镜下, 所有工艺形成的薄膜均沉积在玻璃基质上。为确保所需特性 (如 TCO 层的高导电性和低电阻率), 必须在无缺损、无污染或无不可接受厚度误差的情况下沉积镀膜 (有关典型镀膜缺损类型, 请参见以下灰度图像)。因此, 制造商越发需要光学检测系统 (AOI) 和专用于镀膜材料检测的附加测量解决方案。

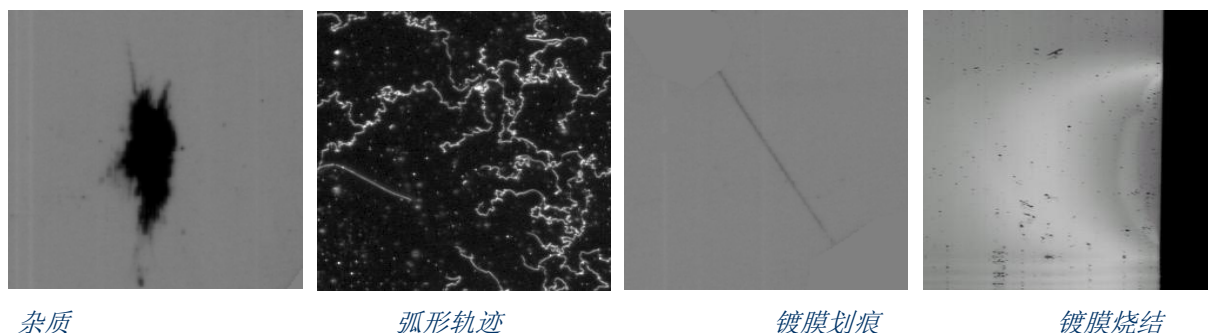


图 4: 玻璃板镀膜缺损示例

4. 低辐射、抗反射和电致变色镀膜中可能存在的缺损和不规则性

低辐射镀膜可应用于玻璃板等产品, 以阻止热辐射。镀膜内部的缺损 (如气泡、划痕或弧形) 并不一定会削弱整个玻璃板的功能。对于此类应用, 外观方面的缺损相关性更高。镀膜的厚度误差和污染可造成玻璃变色、产生污迹, 并使视野分散。玻璃板上的电致变色镀膜应用范围越来越广。这种技术融合了在非激活状态下通过窗口时几乎不会改变的视图, 可通过通电来激活电致变色镀膜, 从而改变玻璃对可见光和红外线的传输 [3]。激活镀膜和保持有色状态所需的能量极低。电致变色玻璃层堆栈中的缺损 (如短路或镀膜缺失) 可导致大范围变色, 因此这是无法容忍的外观缺损。

一般来说, 只有这些应用中才会关注外观的不规则性, 小的缺损则可以忽略。但遗憾的是, 小的缺损可能会加重, 或在不久后形成较大的镀膜缺损。如果此类情形发生在将玻璃安装到建筑物之后, 将会大大增加维修费用。因此, 在这些应用中依然必须检测可视程度内的不规则性。

5. 采用计量系统的工艺控制

如上所述, 仅在镀膜不含任何缺损、污染或无法容忍的厚度误差的情形下, 方可保证这些产品的功能。生产玻璃和镀膜时, 控制镀膜工艺非常必要。虽然可以手动检测玻璃板, 却可能会导致低产出 (由于检测能力的限制) 或只能进行随机控制, 而无法检测出所有的缺损材料。

因此，基于 CCD 摄像头且专用于镀膜材料检测的光学显示系统适用于查找生产工艺中的质量误差。这些系统可查找局部的不规则性（杂质、针孔、划痕等）。这些 AOI 系统的优势在于可以查找出镀膜上或镀膜内部的不规则性并对其进行分类。

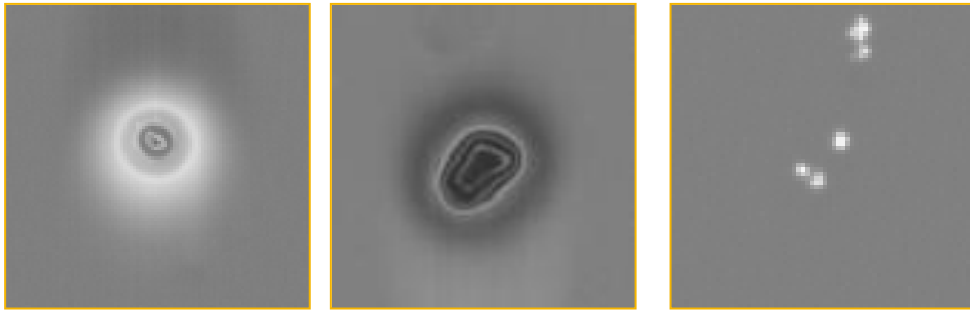


图 5：导电层中的针孔

光学显示系统还可以在全局范围内监视玻璃板或玻璃卷筒上的镀膜参数（如镀膜厚度、表面光雾度、反射率等），以完善计量系统。检测系统中的线性摄像头评估这些参数误差，显示整个玻璃板专用参数的不均匀性。结果在图中显示，可有效帮助操作员和工程师轻松确定工艺不稳定性。

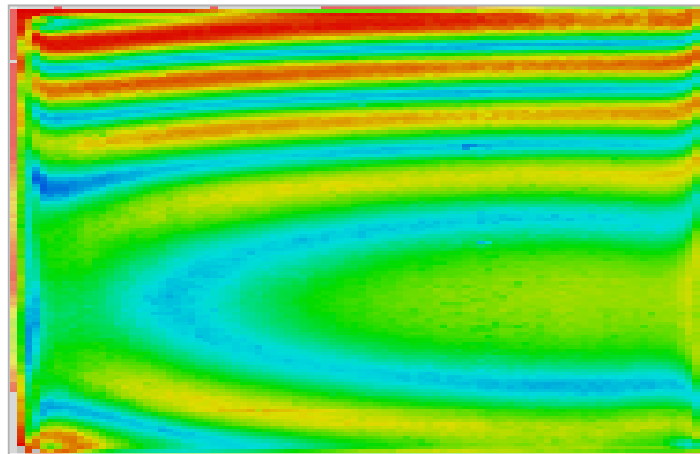


图 6：玻璃板上镀膜厚度分布

第一步，系统报告这些参数的误差，给出样品整个表面的相对分布。此结果连接到某个参数的一个或多个单点传感器测量输出口时，系统可与这些传感器信号相关联，显示调查参数的绝对值。此原理结合了单个本地传感器的优势与监测玻璃板整个表面的检测系统的能力。

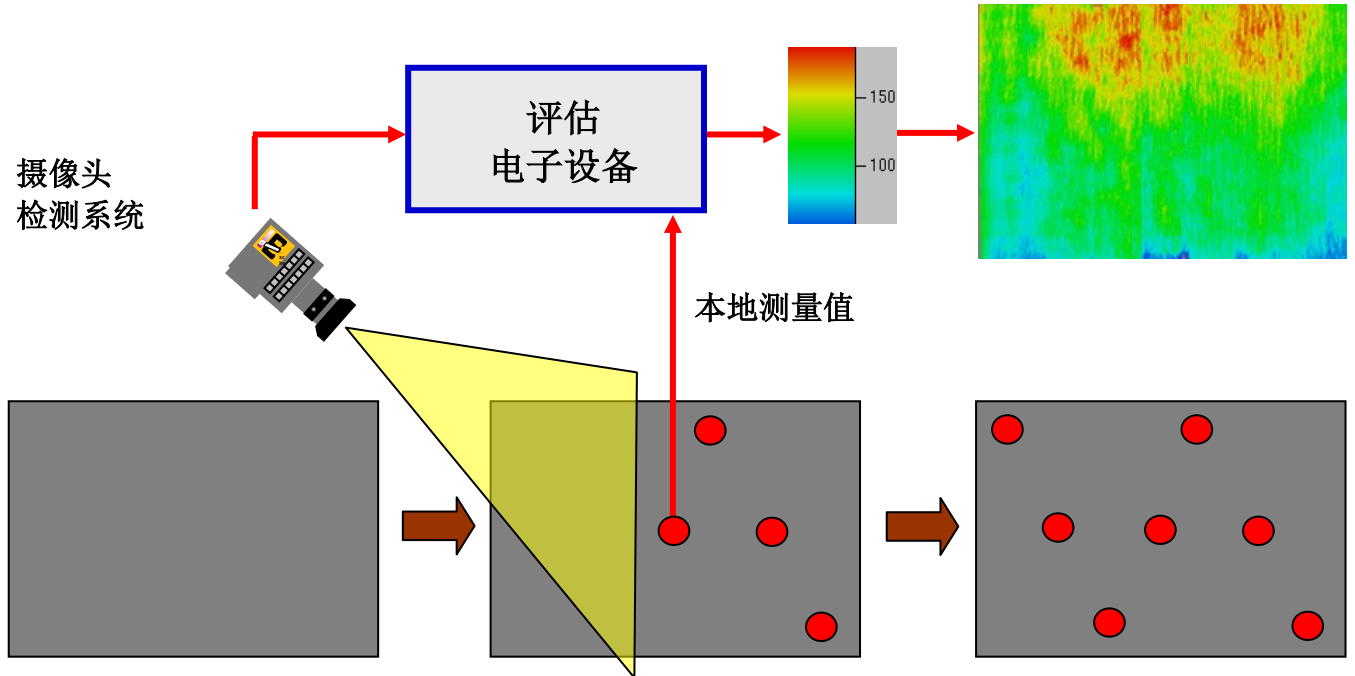


图 7：通过将（由摄像头获得的）监测图与（给出绝对值的）本地测量点相结合，对镀膜厚度进行控制

6. 工艺反馈：手动或自动？

在镀膜生产线中使用联机摄像头显示系统时，系统将选取镀膜或基底玻璃板内部的局部不规则性。对于工艺控制而言，仅仅了解存在某种缺陷并不够，还必须懂得系统测得的缺损类型，以便即时进行应对。

检测系统采用预定义规则，对缺损类型进行分类，并生成一份对缺损参数的详细分析（如缺损类型、尺寸、在玻璃板上的位置等）。

此信息可用于微调相应的生产参数并帮助重新定向所需制程窗口的生产工艺。对整个玻璃板上的镀膜参数进行评估的能力亦如此。

过去，此反馈由操作员手动完成。然而，今天的生产线供应商和玻璃制造商都倾向于采用计量系统数据作为输入，通过自动反馈来控制生产。这样就能够即时校正偏差工艺参数，重置定义制程窗口中将运行的生产工艺，几乎没有延迟。

7. 结论

自动计量系统有助于优化镀膜生产线性能，避免移交缺损的玻璃板。此处有两点非常重要：

- 每个生产步骤后，检测系统都可以直接检测出缺损的材料。这样可避免生产已作废的玻璃板，增加成本。
- 具有扫描局部不规则性和监测物理属性的两种能力，有助于通过早期反馈和对整个制造工艺的综合概述来优化生产工艺。如果工艺开始出现偏差，系统会发出警报，于是制造商可以通过再次优化生产参数进行应对。在专有的预定义反馈回路中，可手动（如由操作员进行）或自动完成此反馈。

最终的结果即为降低生产成本，增加产出，提高可靠性，并延长产品寿命。

参考文献:

- 1 P. Löbmann, Transparent leitfähige Schichten (TCO), Grundlagen der Herstellungsprozesse;
OTTI-Seminar Transparente leitfähige Schichten (TCO), Neu-Ulm/Germany, November 2010
- 2 R. Schild, H. Hagenström, F. Milde, J. Stümpfel, Concepts and Tools in Large Area Coating for Architectural Glass and Photovoltaics, 7th Int.Conference on Coatings on Glass and Plastics, Eindhoven/NL, June 2008
- 3 D. Jödicke, EC-Fenster – schaltbare Verglasung mit K(n)öpfchen,
OTTI-Seminar Aktive Oberflächen und Schichtsysteme, Regensburg/Germany, March 2011