

廊坊市机佳数控设备有限公司

地址：河北省廊坊市光明西道 194 号

电话：13933929580

磁振精密材料

赵宇彤 Yutong.zhao@yigsphere.com

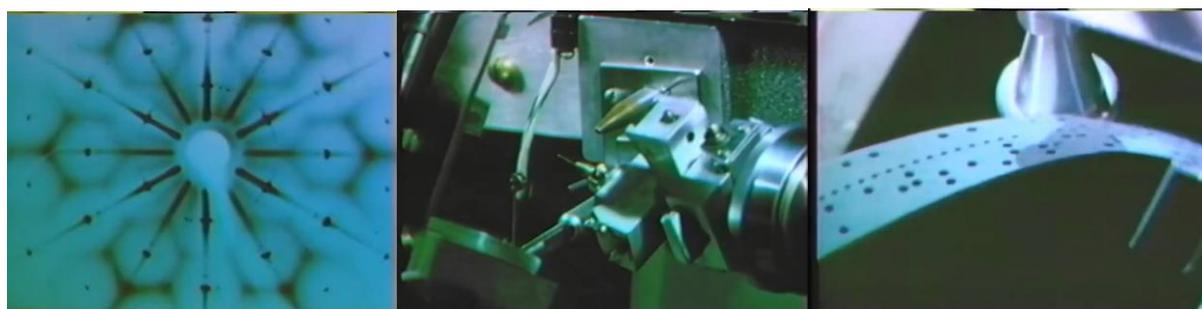
YIG 晶向系列 (一)

晶向测定鼻祖：

晶体晶向的 X-ray 衍射照相方法—— [x-ray precession camera methods](#)

(链接为 Youtube 视频)

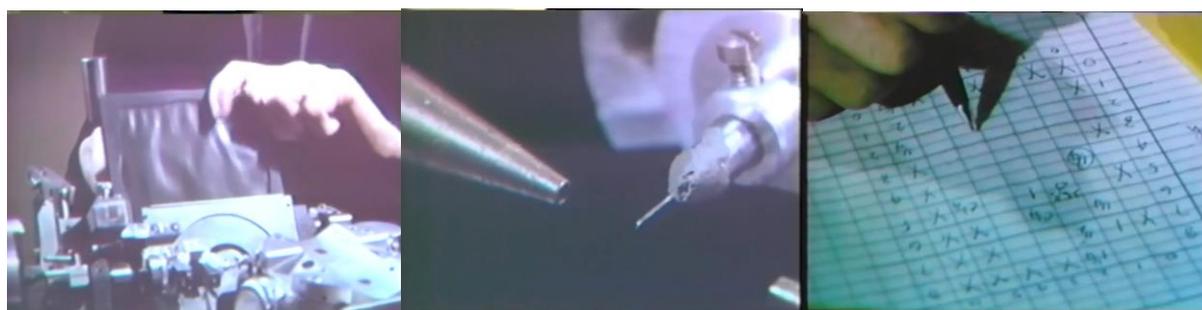
1960 年代早期，贝尔电话实验室开发了 Buerger 进动相机收集晶体的 X 射线衍射数据。升级后的又制造了自动衍射仪、程序化电子 X 射线自动衍射仪 (PEXRAD) 则可以自动化采集数据，每 24 小时可采集 150-200 条衍射图样。校正后的结构因子、综合强度及其标准偏差被输出到穿孔带，用于下一阶段的结构求解。



衍射图样

进动相机的样品架

输入输出均用打孔纸带



放入曝光底片

样品特写

实验记录

在 X 射线衍射现象于 1912 年发现时，德国物理学家劳厄 (M.von Laue) 提出一个重要的科学预见：晶体可以作为 X 射线的空间衍射光栅，即当一束 X 射线通过晶体时将发生衍射，衍射波叠加的结果使射线的强度在某些方向上加强，在其他方向上减弱。从而开启了 X 射线衍射学的蓬勃发展。

PHOTOGRAPHY OF THE RECIPROCAL LATTICE

The Photography of the Reciprocal Lattice
By M. J. Buerger. (ASXRED Monograph No. 1,
published by the American Society for X-Ray and
Electron Diffraction.) Pp. ix+37. (Cambridge,
Mass.: Murray Printing Co., 1944.) 1.50 dollars.



(左) Buerger 所提出的对倒晶格的成像方法被《自然》杂志收录。

(右) 1960 年代由马萨诸塞州的 Charles Supper Company 出品的 X 射线衍射的超进动相机

早在 1944 年，以美国晶体学家 Martin Julian Buerger 就发明了使用 X 射线进动方法测量晶格结构的照相机。该 X 射线照相系统可使晶体绕特定轴旋转并同时收集衍射数据。这个过程有助于克服与传统旋转方法相关的限制，并产生更准确和完整的衍射图案。通过对晶体进行进动，Buerger 进动相机可以一次性收集多次衍射数据。这样可以减少不同实验中的纹理效果、增加数据系统性和完整性并提高测量精度。相机记录了一系列不同倾斜角度的衍射图像，随后对其进行处理以确定晶体结构和其他特性。时至今日，该仪器经过不断改进升级，已经成为确定晶体结构、了解晶体缺陷和探索各种材料特性领域的重要实验仪器。它被广泛应用于矿物学、材料科学、固态物理学和结构生物学等领域。不过这就是另外一个话题了。

题外话：

1960 年代至 1980 年代：Buerger 进动相机继续得到完善和改进。应用了更精确的测角仪和更好的 X 射线探测器的同时提高了相机的性能和数据质量。

1990 年代：数字成像技术开始在晶体及其多种学科应用中取代传统摄影胶片。这种转变导致了数字 Buerger 进动相机的发展，使数据采集、分析和存储更加容易。

2000 年代：随着 X 射线源、探测器和数据处理的进步，Buerger 进动相机技术继续发展。较新型号的相机具有改进的自动化、数据集成以及用于数据分析和可视化的软件。

书归正传，随着 YIG 材料于 1956 年在贝尔电话实验室（新泽西州）中被成功合成。YIG 的各种性质，比如在声学、热学、光学、磁学等领域，也被随即测量。当然，除了其优异的铁磁共振性质被发现，这个刚刚合成的晶体也被安装在了 Buerger 进动相机上，被人看了一个通透。不出所料，YIG 的晶体结构很快被解析。



左图. 1962 年，Eugene I. Gordon（左）和 Conway LeCraw（右）使用 YIG 晶体的晶胞模型讨论了钇铁石榴石（YIG）的特性。

中图. (特写) LeCraw 拿着一个 YIG 球体，用于在贝尔电话实验室测量材料的声学特性。

右图. YIG 的晶格结构，灰色为钇原子，红色为铁原子，白色为氧原子。

单晶 YIG 材料属于立方晶系，各向异性材料。因此通过 X 射线衍射法测定晶向，很容易

就能对磁晶各项异性进行研究。比如后来科学家测定，YIG 磁化的易轴为[111]，难轴为[100]，中间轴为[110]。

由于单晶 YIG 的奇特性质和半导体工艺的长足发展，世界上第一个 YIG 调谐振荡器（隧道二极管）于 1965 年、YIG 材料首次合成仅仅 9 年后问世。开启了 YIG 材料产业化应用的新篇章，此时的 YIG 振荡器的性能被二极管的参数牢牢限制，最高仅能达到 8GHz（这其实已经是个了不起的成就了）。此外，YIG 的最直观应用、第一个商业产品 YIG 调谐滤波器也于 1969 年登上历史舞台。

好了，背景介绍完毕，好戏刚刚开始。欲知后事如何，且听下回分解。

参考文献：

- [1]. Geller, S., and M. A. Gilleo. "Structure and ferrimagnetism of yttrium and rare-earth-iron garnets." *Acta Crystallographica* 10.3 (1957): 239-239.
- [2]. Buerger, Martin Julian. *The photography of the reciprocal lattice*. No. 1. American Society for X-Ray and Electron Diffraction, 1944.
- [3]. Dauksher, W. J., and J. J. Hamilton. "YIG-tuned transistor local oscillators operating to 8 GHz." *Proceedings of the IEEE* 53.10 (1965): 1660-1660.

初次发表：2023 年 6 月 8 日星期四

修订于：2023 年 6 月 8 日星期四