

1.太赫兹简介

太赫兹辐射通常是指频率介于 0.1THz-10THz（波长在 3 mm-30 μ m）之间的电磁波，其波段位于微波和红外之间。在电子学领域，太赫兹波被称为毫米波和亚毫米波；在光学领域，则被称为远红外射线。图 1 所示为太赫兹波在电磁波谱中的位置。位于其两侧的 X 射线、紫外射线、可见光和微波等均已被广泛开发并应用于各行各业中。相比而言，太赫兹波的研究则相对滞后。

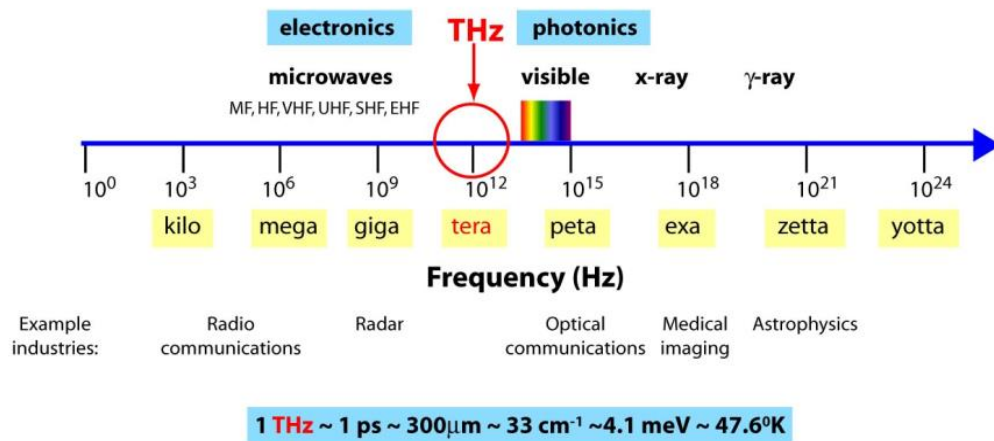


图 1 太赫兹波在电磁波谱中的位置

20 世纪 80 年代以前，由于缺乏有效的太赫兹辐射源和探测方法，太赫兹技术的发展一直较为缓慢，也成了电磁波谱中唯一未被充分开发利用的“处女地”。所以科学家们通常称之为“太赫兹间隙”（Terahertz Gap）。近二十年来，超短脉冲激光技术的发展，为太赫兹脉冲的产生提供了稳定、可靠的激发光源，极大地促进了太赫兹技术的发展，有望广泛应用于无标记的基因检查、超高分辨率的生物医学成像、化合物和毒品以及炸药的识别、藏匿武器的安检，以及宽带通信等领域。

2.太赫兹材料

聚合物：

在大量聚合物中，有一些对 THZ 波是透明的，反射率很低。一般意义上说，最好的材料是 TPX (polymethylpentene), polyethylene (PE), polypropylene (PP), 和 polytetrafluoroethylene (PTFE or Teflon). 对于长波长，这些聚合物的透过率曲线也很平坦。对于短波长，主要是 $<200 \mu$ m, 内部的不均匀性就会导致一些散射和波动。也就是说，聚合物对短波长呈现出不透明的特点。

2.1 Polymethylpentene (TPX) :

TPX 是所有已知聚合物中最轻的。它对紫外，可见和 THZ 波段是透明的。当然也就是可以用 He-Ne 激光器来进行准直。该聚合物折射率约为 1.46，和波

λ , μm	n
0.633	1.463
24	1.4568
60	1.4559
300	1.46
667	1.46
1000	1.4650
3191	1.466

长关系不大:

TPX 对 mm 波的传输损耗非常低。它有非常优良的热阻，并且能抗一些商用的化学品的腐蚀。

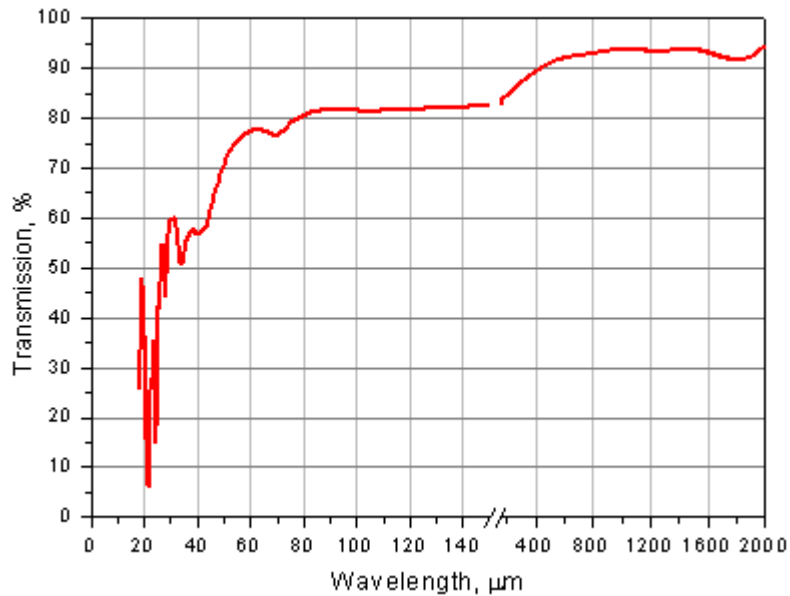


Fig. 6 Transmission of TPX 2 mm-thick sample. THz region.

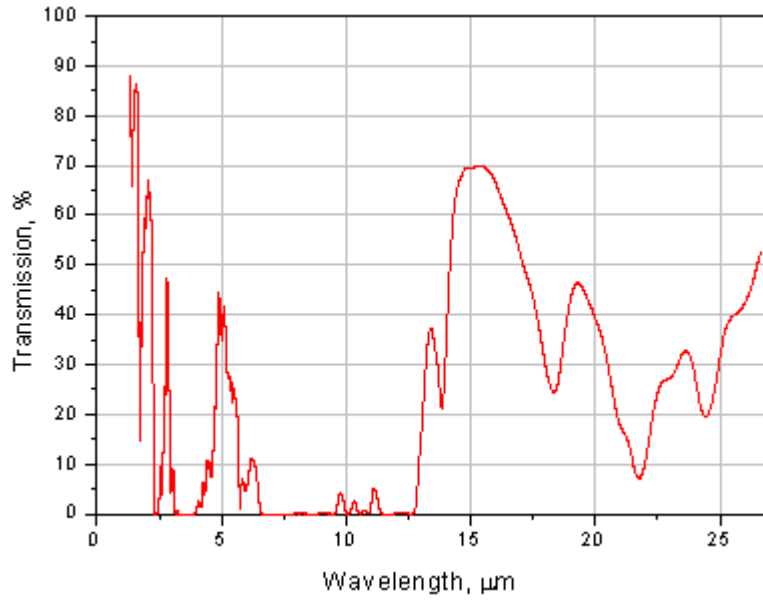


Fig. 7 Transmission of TPX 2 mm-thick sample. NIR&MIR regions.

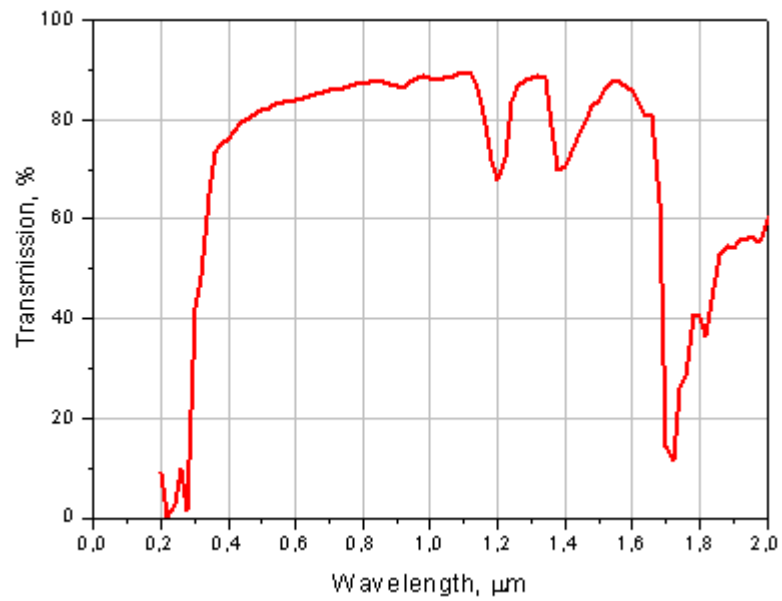


Fig. 8 Transmission of TPX 2 mm-thick sample. UV&VIS&NIR ranges.

TPX 的主要参数:

密度, g/cm ³	0.83
抗张强度	4100 psi ~28.3 MPa
拉伸模量	280000 psi ~1930.5 MPa

抗张伸展率, %	10
绕曲强度	6100 psi 42.1 MPa
绕曲模量	210000 psi 1447.8 MPa
热偏温度, ° C	100
融化温度, ° F/° C	464/240
吸水率 (ASTM-D 1228), %	<0.01
透水汽性 (thk 25 μm , 40C, 90%RH), g/m ² *24h	110
透 气 性 γ (thk 100 μm), cm ³ /m ² *d*MPa	120000

TPX 是很硬的固体材料, 可以用来加工成不同的光学元件, 如透镜和窗口镜。而且通常 TPX 还可用在 CO₂ 激光泵浦分子激光的系统中作为输出窗口镜。因为它对整个 THZ 波段都是透明的, 并且可以反射 10 微米的泵浦光。TPX 窗口镜还可以在低温保持器中作为“冷”窗口。因为 TPX 在 THZ 波段的透明度和温度无关, 折射率的温度系数 $3.0 \times 10^{-4} \text{ K}^{-1}$ (for the range 8-120 K)。

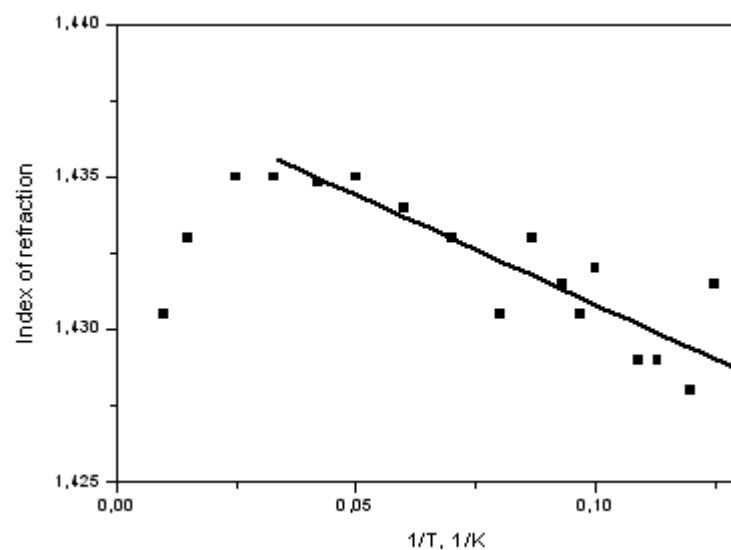


Fig. 9 Temperature dependence of refractive index.(***)

和其他用在 THZ 波段的材料比较, TPX 的特性更好, 例如它是 Picarin (Tsurupica)透镜很好的替代品。另外, TPX 更便宜, 而且比 Picarin 更容易获得。

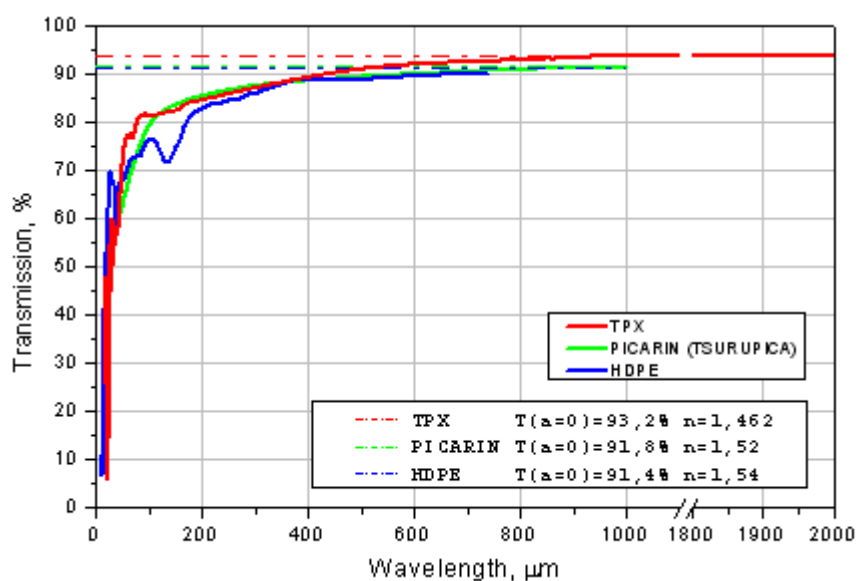


Fig. 10 Transmission of 2 mm-thick samples of TPX, Picarin, and HDPE.

2.2 Polyethylene (PE) :

PE 是请的弹性晶体材料。它可以加热到 110°C , 也可以冷却到 $-45 \div -120^{\circ}\text{C}$ 。PE 拥有良好的介电特性, 防腐蚀性和抗辐射性。但是, 它在紫外波段和油腻的环境下不够稳定。在生物学上来讲, PE 很不活跃, 很容易处理。在 23°C 下密度为 $0.91\text{-}0.925\text{ g/cm}^3$, 张力流限为 $8\text{-}13\text{ MPa}$, 弹性模数为 $118\text{-}350\text{ MPa}$, 在很宽的光谱范围内折射率都约为 1.54 。通常, 高密度的 polyethylene (HDPE) 也来作为组件材料。除了作为厚透镜和窗口镜, 薄的 HDPE 还可用来作为 THZ 偏振片。我们用 HDPE 作为 Golay Cell 的窗口镜。

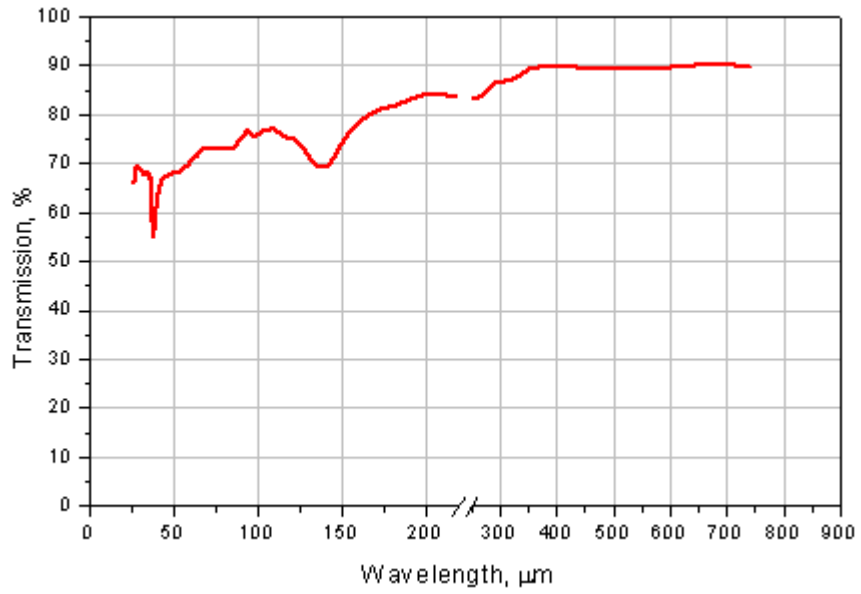


Fig. 11 Transmission of 2 mm-thick HDPE sample. THz region.

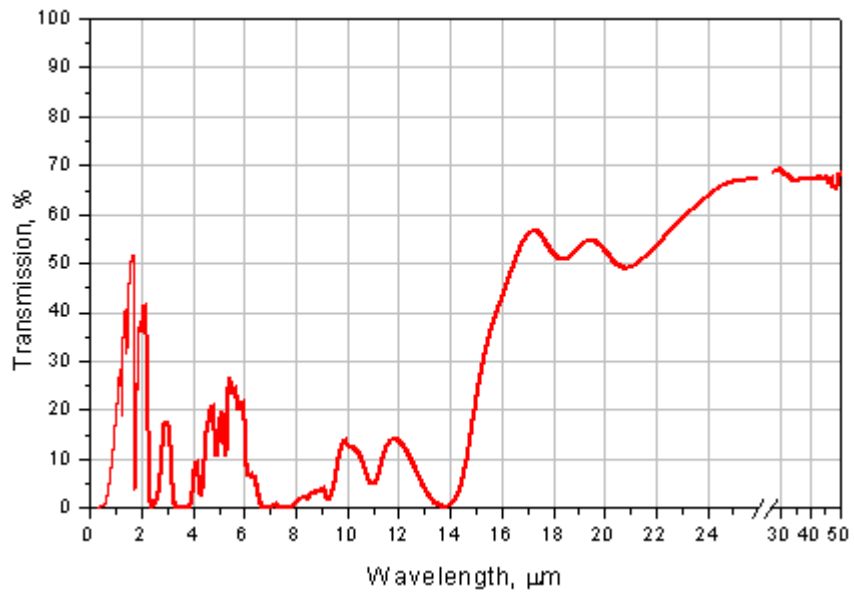


Fig. 12 Transmission of 2 mm-thick HDPE sample. NIR&MIR region.

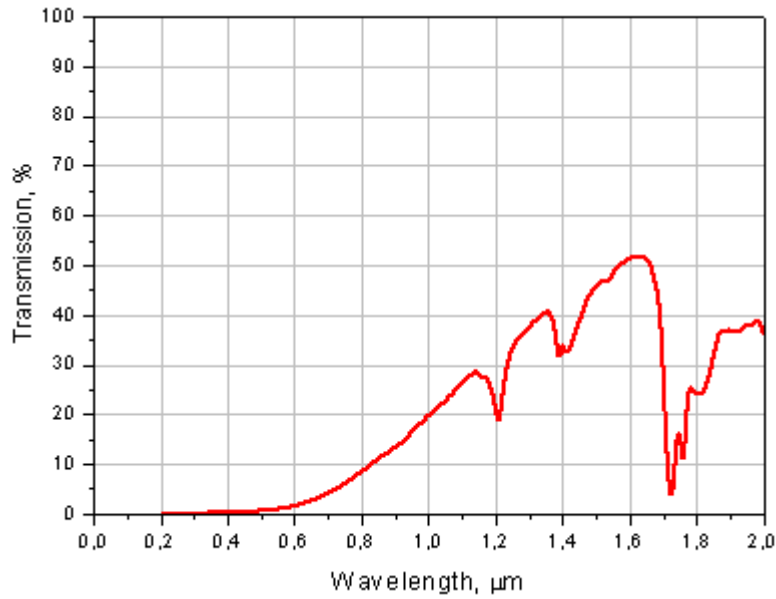


Fig. 13 Transmission of 2 mm-thick HDPE sample. VIS&NIR region.

很遗憾, HDPE 对可见光的透过率非常低, 因此, 它不能用来作为光学系统的准直元件。

我们还应该注意到 HDPE 的 THZ 透射率并不取决于温度, 因此可以作为低温保持器的窗口镜。折射率的温度系数为 $6.2 \cdot 10^{-4} \text{ K}^{-1}$ (for the range 8-120 K)。

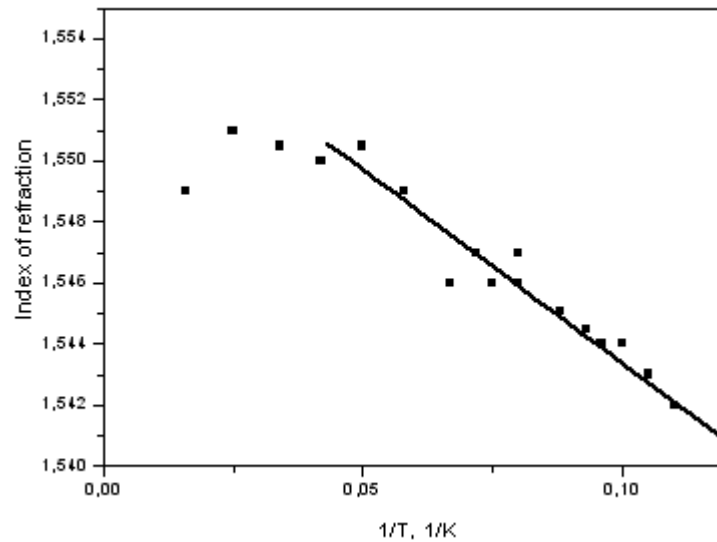


Fig. 14 Temperature dependence of refractive index (***)

2.3 Polytetrafluoroethylene (PTFE, Teflon, in Russian - Ftoroplast):

PTFE 在室温下是一种白色的固体, 密度约为 2.2 g/cm^3 。熔点为 327°C , 在 -73°C 到 204°C 温度范围内它的主要特点都差别不大, 在比较宽的波段范围

内，折射率都约为 1.43。

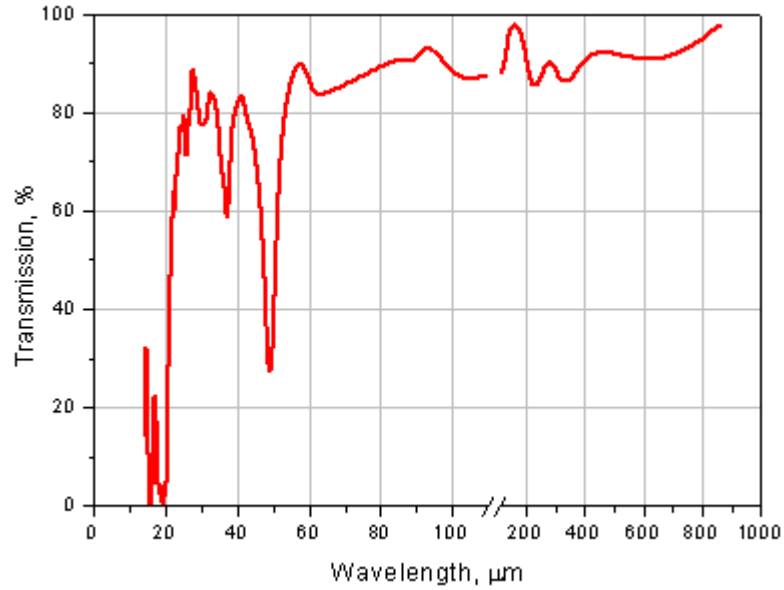


Fig. 15 Transmission of PTFE film ~0.1 mm-thick. THz region.

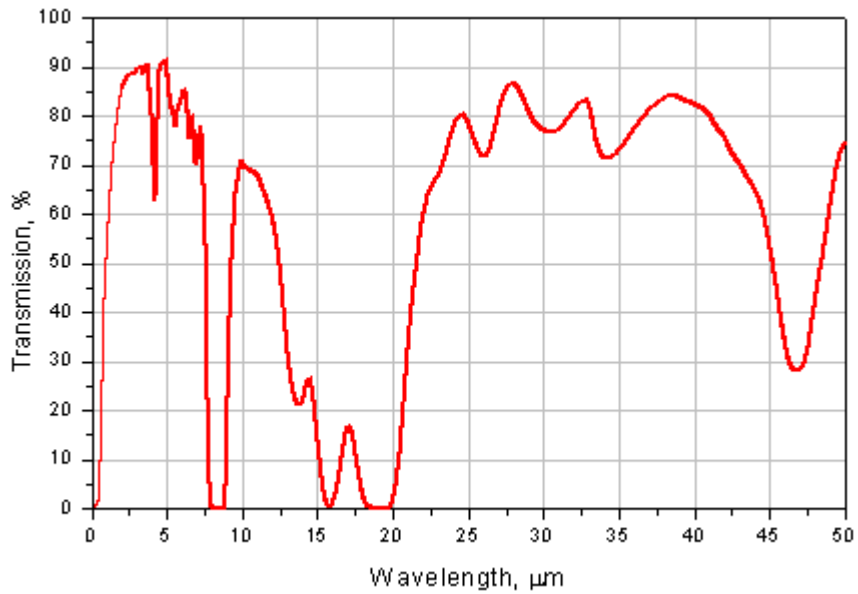


Fig. 16 Transmission of PTFE film ~0.1 mm-thick. NIR&MIR region.

由于对 1-7 μm 波段范围内透明度都很高，PTFE 薄片通常用来制作 IR 偏振片。这种偏振片的价格比晶体材料的便宜。这样就使他们在 IR 偏振应用中能够得到大量使用。

PTFE 的主要参数：

抗张强度	3900 psi ~26.7 MPa
拉伸模量 (psi)	80000 psi ~551.6 MPa
抗张伸展率 (%)	300
绕曲强度 (psi)	No break
绕曲模量 (psi)	72000
耐压强度 (psi)	3500
耐压系数 (psi)	70000

3.总结

以上是一些聚合物塑料应用于太赫兹波段的情况简介，目前实验室应用最广泛的就是 TPX 材料，主要优点一是因为在太赫兹波段透过率高，可用做太赫兹探测器的窗口材料以及强场太赫兹系统中窗口片。下图正好是我们实验室从俄罗斯购买 TPX 窗口片，你们可以参考下。（尺寸直径 50mm，厚度 3.5mm）

