

参赛队员姓名：邱天麒

中学：北京大学附属中学

省份：北京市

国家/地区：中国

指导教师姓名：陈清伟

指导教师单位：北京大学附属中学

论文题目：智能手机屏幕的衍射图样
研究

智能手机屏幕的衍射图样研究

邱天麒

摘要

智能手机的屏幕由大小不一、排列均匀的像素组成，受到激光照射时，反射的激光发生衍射，就会产生网格状的二维衍射图样，展现出类似于二维反射光栅的特性。

本文推导了二维不均匀光栅的衍射方程及一种特殊情况下的简化公式，分析了激光入射角度对衍射图样的影响，利用直接推导和傅里叶变换两种方法进行了模拟仿真，并利用实验验证了推导公式的正确性，同时根据试验所得的衍射图样计算出手机屏幕的像素密度 PPI 的值，对研究结果的应用场合给出了自己的设想。

本文对比不同类型及不同子像素排列的手机屏幕衍射图样的差异，将理论推算、仿真与实验相结合，交叉对比相互印证，对光栅衍射的原理和机制有了更深入的了解。

关键词：智能手机，光栅衍射，matlab 仿真，像素密度

目录

一、	引言	5
二、	智能手机屏幕的基本性质	6
	2.1 智能手机屏幕分类	6
	2.2 智能手机屏幕的显微观察	7
三、	理论推导与仿真	9
	3.1 光栅衍射的基本理论	9
	3.2 手机屏幕像素密度 PPI 的计算方法	13
	3.3 二维衍射光栅光强方程推导	14
	3.4 matlab 仿真.....	21
	3.5 基于傅里叶变换的更准确图样仿真	22
四、	手机屏幕衍射实验	25
	4.1 实验器材的准备	25
	4.2 不同手机衍射图样对比	27
	4.3 亮屏与熄屏状态下的衍射图样	29
	4.4 入射光角度对衍射图样的影响	31
	4.5 VIVO 手机屏幕 PPI 的计算.....	37
五、	结论	38
	参考文献.....	41
	致谢.....	42
	附录 1：光强公式仿真代码	44
	附录 2：傅里叶变换仿真代码	45

一、引言

光具有许多神奇的性质，在生活中经常会产生有趣的现象，例如身边的电子产品的屏幕在遇到光后，会出现非常漂亮的图案：1、用手电筒照在电视机屏幕上，就会出现彩色的“米”字；2、用手电筒照射电脑屏幕，屏幕上会出现网格状的波纹；3、激光笔照在手机屏幕上，会在墙上反射出许多排列规则的“点”。这些图案都非常漂亮绚丽，但直接观察电子产品的屏幕，并不能看到这些奇妙的图形，因此我经常思索这些图案是从哪里来的，产生的原因又是什么。

后来在物理课程中学习了光的衍射这一现象，了解到光绕过障碍物偏离直线传播而进入几何阴影，并在屏幕上出现光强分布不均匀的现象，称为光的衍射。经过查阅资料，我了解到许多电子屏幕中都有规则排列的像素点，可以看作是光栅。

课本中的光栅，是基于狭缝展开研究的，只考虑一个方向上的明暗条纹，也即是一维光栅，而手机屏幕像素点是一个个方形或矩形图案，在水平、垂直两个方向均会产生明暗变化。当激光入射时，手机屏幕反射激光，发生衍射，就会产生类似简单晶格衍射的图样。

为了探究手机屏幕衍射图样的形成，本文将解决以下几个问题：（1）手机屏幕作为光栅，它的结构是怎样的？（2）光栅衍射的图形是如何形成的？（3）手机屏幕光栅衍射的图形应当是什么样子？（4）能否通过手机屏幕光栅图样，测得手机屏幕上像素点的一些性质？基于以上问题，本文将通过理论推导、软件仿真、实验测量等方法，对智能手机屏幕光栅展开研究与分析。

二、智能手机屏幕的基本性质

为了了解手机屏幕的像素结构，验证手机屏幕中的像素点阵是否可以看作二维光栅，并在激光照射下衍射出“点阵”，借助光学显微镜来观察手机屏幕。

2.1 智能手机屏幕分类

按照屏幕的材质分类，目前市场上主流的手机屏幕可分为 LCD 和 OLED 两种^[1]。

LCD 是指液晶显示屏，它的最下层是一块会发射白光的背光灯，中间为一层液晶层，它的透光程度随电压大小的变化而改变，最上层为一层彩色滤光片。中间液晶层在电压的控制下可像百叶窗一样开合，调节透过的背光强度，再经过彩色滤光片，形成比例不同的红绿蓝三色光，最终在屏幕上呈现出色彩缤纷的画面。

OLED 即有机发光二极管，与 LCD 的原理不同，它不需要背光灯照亮，而是采用发光二极管，只要有电流通过，这些发光二极管就可以单独实现发光，各个像素点是独立的，三色光再组合后形成彩色画面。

由于发光原理不同，两类手机屏幕的常用像素排列方式也不尽相同，LCD 屏幕常采用标准 RGB 排列，将红绿蓝三种大小相同的滤色片作为子像素，并排排列构成一个像素点。OLED 屏幕则多采用钻石排列，每个像素由红绿和蓝绿子像素组合而成。

2.2 智能手机屏幕的显微观察

本实验中研究了 3 部手机，分别是荣耀 8、iPhone7Plus、Vivo S9e。在实验前，在官网上查找了相应手机的信息，如表 2.1 所示。

表 2.1 官网各型号手机参数

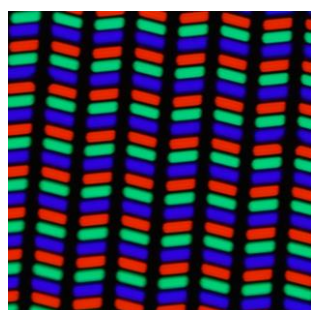
屏幕参数	荣耀 8	iPhone7Plus	Vivo S9e
屏幕尺寸	5.2 英寸	5.5 英寸	6.44 英寸
分辨率	1920×1080	1920x1080	2404×1080
屏幕材质	LCD	LCD	OLED
像素密度	423PPI	401PPI	408PPI

在光学显微镜下（放大 200 倍）观察不同型号的手机屏幕，可以看到像素的排列方式，如图 2.2 所示。

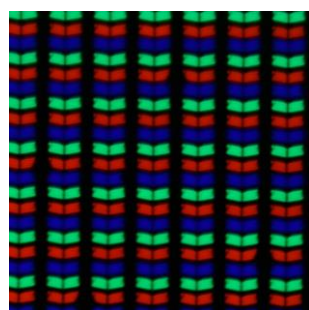


图 2.1 光学显微镜

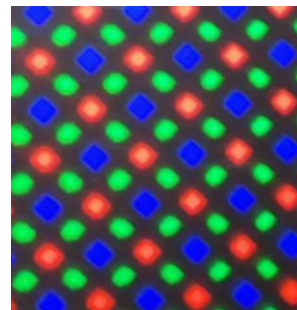
通过显微镜观察这三种型号的手机屏幕可以发现，荣耀 8 和 iPhone7Plus 这两种手机屏幕都是 LCD 屏幕，三种像素的大小非常接近，但荣耀 8 相邻两列子像素滤光片角度不同，iPhone7Plus 的滤光片呈 V 型，所有子像素的形状、大小均相同；Vivo S9e 采用了 OLED 屏幕，像素点呈钻石排列，不同颜色子像素的大小、形状有所不同，观察到的图形与手机官网信息是一致的。



荣耀 8



iPhone7Plus



Vivo S9e

图 2.2 显微镜下的屏幕像素分布

三、理论推导与仿真

3.1 光栅衍射的基本理论

当满足一定条件时，光具有绕过障碍物偏离直线传播而进入几何阴影，并在屏幕上出现光强分布不均匀的现象，这种现象即为光的衍射。

根据惠更斯-菲涅耳原理，波面 S 产生的合振动可由波面任一面积 dS 产生的振动合成得到，即有菲涅耳衍射积分：

$$E = C \int \frac{K(\theta)A(Q)}{r} e^{i(kr - \omega t)} dS \quad (3-1)$$

式中， C 为比例系数， $K(\theta)$ 为倾斜因子， $A(Q)$ 为分布函数， r 为观察点与波面间的光程。

任何具有空间周期性的衍射屏都可以称为衍射光栅，它是一种分光装置，如下图 3.1 中所示，根据衍射图样的形成位置，光栅可分为透射光栅和反射光栅，目前在分光仪器中使用的光栅几乎都是反射式的闪耀光栅。当一定波长的光入射到光栅时，会形成条纹状的衍射图样。

根据光源和屏幕到光栅的距离，衍射现象可分为菲涅耳衍射和夫琅禾费衍射，光源和屏幕到光栅距离至少有一个为有限的衍射称为菲涅耳衍射，而夫琅禾费衍射则是指光源和屏幕到光栅的距离都为无限远的衍射现象。

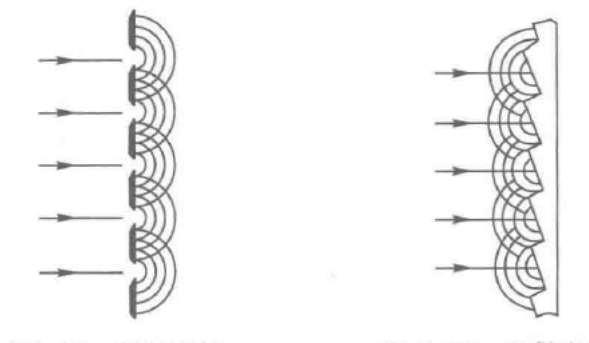


图 3.1 透射光栅及衍射光栅

对于均匀的一维平面光栅，其衍射公式为：

$$E = A_0 \frac{\sin(\frac{\pi b \sin \theta}{\lambda})}{\frac{\pi b \sin \theta}{\lambda}} \cdot \frac{\sin N(\frac{\pi d \sin \theta}{\lambda})}{\sin(\frac{\pi d \sin \theta}{\lambda})} \cdot e^{i[\pi \frac{b+(N-1)d}{\lambda} \sin \theta - \omega t]} \quad (3-2)$$

式中， A_0 为光源振幅， b 为光栅窄缝的宽度， d 为两缝之间的距离，即光栅常量， λ 为入射光的波长， N 为光栅的缝数， θ 为衍射角。

令 $u = \frac{\pi b \sin \theta}{\lambda}$, $v = \frac{\pi d \sin \theta}{\lambda}$ ，光强方程可写为：

$$I_p = A_0^2 \frac{\sin^2 u}{u} \cdot \frac{\sin^2 Nv}{\sin^2 v} \quad (3-3)$$

光栅衍射实际上可以理解为单缝衍射现象与多光束干涉现象的合成，式（3-3）中， $\frac{\sin^2 u}{u}$ 来源于单缝衍射，是整个衍射图样的轮廓，被称为单缝衍射因子， $\frac{\sin^2 Nv}{\sin^2 v}$ 则来源于多光束的缝间干涉，被称为缝间干涉因子。

缝间干涉因子会影响各个极大值的位置，当从相邻两条狭缝出射的光线的光程差是光的波长的整数倍时，两束

光线相位相同，此时就会发生干涉，出现亮斑。如图 3.2 所示，当平面波垂直于光栅平面入射时，光线与槽面法线间的入射角为 θ_B ，满足：

$$d \sin \theta_B = k\lambda, k = 0, \pm 1, \pm 2, \dots \quad (3-4)$$

此时取得最大相对强度，此公式称为光栅方程，整数 k 称为谱线的级数。

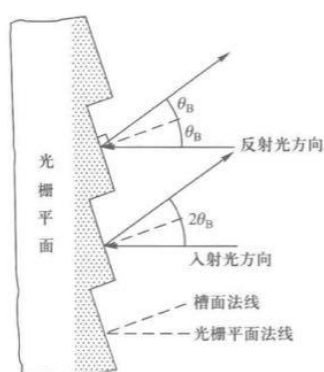


图 3.2 光栅方程求取示意图

如图 3.3 所示，当衍射角较小时，可近似认为衍射角 θ

满足 $\sin \theta \approx \tan \theta = \frac{lk}{L}$ 则有

$$d = \frac{\lambda L}{\Delta l} \quad (3-5)$$

式中， Δl 为相邻两个谱线的距离。

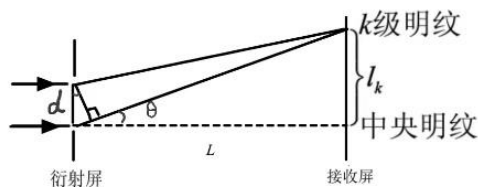


图 3.3 衍射角较小时衍射示意图

以上讨论的是垂直入射时的情况，如果平行光束倾斜地入射到光栅上，入射方向与光栅平面的法线之间的夹角为 θ_0 。

如图 3.4 所示，当平行光斜入射时，若入射光线和衍射光线在光栅法线同一侧，则 θ 和 θ_0 同号，光程差为 $\Delta=d(\sin\theta+\sin\theta_0)$ ，则光栅方程为

$$d(\sin\theta+\sin\theta_0)=k\lambda, k=0, \pm 1, \pm 2, \dots \quad (3-6)$$

同理，如图 3.5 所示，若入射光线和衍射光线在光栅法线异侧，则光栅方程为

$$d(\sin\theta-\sin\theta_0)=k\lambda, k=0, \pm 1, \pm 2, \dots \quad (3-7)$$

根据上述公式可知，当入射光与衍射光在法线同侧时，入射光与法线夹角越大，衍射角越小，两个极大值之间距离越近，亮斑越密集；当入射光与衍射光在法线的两侧时，入射光与法线夹角越大，亮斑越稀疏。以上讨论的是透射光栅的情况，而反射光栅的入射光与衍射光必定在法线两侧，也即入射角越大，手机屏幕的衍射图样亮斑越稀疏。

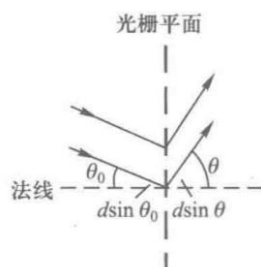


图 3.4 入射光线和衍射光线在光栅平面法线同侧

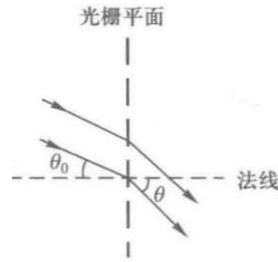


图 3.5 入射光线和衍射光线在光栅平面法线异侧

3.2 手机屏幕像素密度 PPI 的计算方法

不同手机屏幕均由微小的红、蓝、绿三种颜色的显示单元周期性排列组成，最小的单元称之为像素，这种周期性排列相当于光栅。

PPI 即 pixels per inch，表示每英寸对角线上所拥有的像素数目，单位为 1/in，计算公式为：

$$PPI = \frac{\sqrt{N_x^2 + N_y^2}}{L} \quad (3-8)$$

式中， N_x 为手机水平方向像素个数， N_y 为手机垂直方向像素个数， L 为屏幕对角线长度。

设手机屏幕的宽为 x ，长为 y ，则由几何关系得， x 方向像素的个数 $N_x = \frac{x}{d}$ ， y 方向像素的个数 $N_y = \frac{y}{d}$ 。代入式

(3-7) 可得 PPI 的计算公式为：

$$PPI = \frac{\sqrt{\frac{x^2}{d^2} + \frac{y^2}{d^2}}}{\sqrt{x^2 + y^2}} = \frac{1}{d} \quad (3-9)$$

d 的单位通常是米，换算为 PPI 常用单位后可得

$$PPI = \frac{1}{39.37d} \quad (3-10)$$

只要求得手机屏幕的光栅常数 d ，即可推算出手机屏幕的 PPI。

3.3 二维衍射光栅光强方程推导

衍射角较小时，二维光栅可以理解为两个刻线相互垂直正交的一维光栅的叠加，会在两个正交的维度分别产生衍射并叠加，每个维度都会受到缝间干涉因子和衍射因子的调制。均匀的二维光栅夫琅禾费衍射光强分布公式为：

$$I_p = A_0^2 \cdot \frac{\sin^2 u_x}{u_x^2} \cdot \frac{\sin^2 u_y}{u_y^2} \cdot \frac{\sin^2 Nv_x}{\sin^2 v_x} \cdot \frac{\sin^2 Nv_y}{\sin^2 v_y} \quad (3-11)$$

显然在考虑二维光栅光强分布时，可拆解成两个正交的方向分别推导，再将光强合成至平面中。

首先对钻石屏的衍射光强分布公式进行推导。观察显微镜下的像素构成，近似地可以认为 2 个矩形的绿色像素、1 个稍大的正方形蓝色像素和 1 个稍小的正方形红色像素可构成 1 个像素单元，如下图 3.6 所示，显示屏是由多个这样的像素单元组成的。令蓝色像素边长为 a ，红色像素边长为 b ，绿色像素的长边为 c_1 ，短边为 c_2 ，容易看出 $a > c_1 > b > c_2$ 。

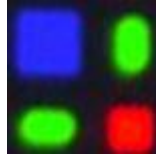


图 3.6 像素单元示意图

先考虑一种较为简单的情况：若 $a=c_1 > b=c_2$ ，此时单独考虑 x 方向和 y 方向，均可将其当作狭缝宽度周期性变化的不均匀光栅。

由式（3-2）可得不均匀光栅 x 方向的振动方程为

$$\begin{aligned}
 E_x = e^{-i\omega t} & \left[\frac{A_0'}{a} \int_0^a e^{i\frac{2\pi}{\lambda}x\sin\theta_x} dx + \frac{A_0}{b} \int_{a+d_1}^{a+d_1+b} e^{i\frac{2\pi}{\lambda}x\sin\theta_x} dx \right. \\
 & + \frac{A_0'}{a} \int_d^{d+a} e^{i\frac{2\pi}{\lambda}x\sin\theta_x} dx + \frac{A_0}{b} \int_{d+a+d_1}^{d+a+d_1+b} e^{i\frac{2\pi}{\lambda}x\sin\theta_x} dx + \dots \quad (3-12) \\
 & \left. + \frac{A_0'}{a} \int_{(N-1)d}^{(N-1)d+a} e^{i\frac{2\pi}{\lambda}x\sin\theta_x} dx + \frac{A_0}{b} \int_{(N-1)d+a+d_1}^{(N-1)d+a+d_1+b} e^{i\frac{2\pi}{\lambda}x\sin\theta_x} dx \right]
 \end{aligned}$$

式中， d_1 为相邻两个像素相近的两条边之间的距离，即有

$$d_1 = \frac{d - a - b}{2} \quad (3-13)$$

对于均匀光线而言，单位宽度的入射光强度相同，即

应当满足 $\frac{A_0}{b} = \frac{A_0'}{a}$

上式可以拆分为两个等比数列之和

$$\begin{aligned}
 E_{x1} = e^{-i\omega t} & \left[\frac{A_0'}{a} \int_0^a e^{i\frac{2\pi}{\lambda}x\sin\theta_x} dx + \frac{A_0'}{a} \int_d^{d+a} e^{i\frac{2\pi}{\lambda}x\sin\theta_x} dx + \dots \quad (3-14) \right. \\
 & \left. + \frac{A_0'}{a} \int_{(N-1)d}^{(N-1)d+a} e^{i\frac{2\pi}{\lambda}x\sin\theta_x} dx \right]
 \end{aligned}$$

和

$$E_{x2} = e^{-i\omega t} \left[\frac{A_0}{b} \int_{a+d_1}^{a+d_1+b} e^{\frac{2\pi}{\lambda} x \sin \theta_x} dx + \frac{A_0}{b} \int_{d+a+d_1}^{d+a+d_1+b} e^{\frac{2\pi}{\lambda} x \sin \theta_x} dx + \dots \right. \\ \left. + \frac{A_0}{b} \int_{(N-1)d+a+d_1}^{(N-1)d+a+d_1+b} e^{\frac{2\pi}{\lambda} x \sin \theta_x} dx \right] \quad (3-15)$$

对 E_{x1} 进行求和, 对第 n 项, 有

$$\int_{(n-1)d}^{(n-1)d+a} e^{\frac{2\pi}{\lambda} x \sin \theta_x} dx = \frac{1}{i \frac{2\pi}{\lambda} \sin \theta_x} \cdot e^{\frac{2\pi}{\lambda} x \sin \theta_x} \Big|_{(n-1)d}^{(n-1)d+a} \\ = \frac{1}{i \frac{2\pi}{\lambda} \sin \theta_x} \cdot e^{\frac{2\pi}{\lambda} (n-1)d \sin \theta_x} \cdot (e^{\frac{2\pi}{\lambda} a \sin \theta_x} - 1) \\ = \frac{1}{\frac{\pi}{\lambda} \sin \theta_x} \cdot e^{\frac{2\pi}{\lambda} (n-1)d \sin \theta_x} \cdot e^{\frac{\pi}{\lambda} a \sin \theta_x} \frac{e^{\frac{i\pi}{\lambda} a \sin \theta_x} - e^{-\frac{i\pi}{\lambda} a \sin \theta_x}}{2i} \\ = e^{\frac{i\pi}{\lambda} [2(n-1)d+a] \sin \theta_x} \cdot \frac{\sin(\frac{\pi}{\lambda} a \sin \theta_x)}{\frac{\pi}{\lambda} a \sin \theta_x} \quad (3-16)$$

式中与 n 相关的只有 $e^{\frac{i\pi}{\lambda} [2(n-1)d+a] \sin \theta_x}$, 它是一个首项为

$e^{\frac{i\pi}{\lambda} a \sin \theta_x}$ 、公比为 $e^{\frac{i\pi}{\lambda} 2d \sin \theta_x}$ 的 N 项等比数列, 其和为

$$e^{\frac{i\pi}{\lambda} a \sin \theta_x} \cdot \frac{1 - e^{\frac{2\pi}{\lambda} N d \sin \theta_x}}{1 - e^{\frac{2\pi}{\lambda} d \sin \theta_x}} = e^{\frac{i\pi}{\lambda} a \sin \theta_x} \cdot e^{\frac{i\pi}{\lambda} (N-1)d \sin \theta_x} \cdot \frac{\sin(N \frac{\pi}{\lambda} d \sin \theta_x)}{\sin(\frac{\pi}{\lambda} d \sin \theta_x)} \quad (3-17)$$

由此可得

$$\begin{aligned}
E_{x1} &= e^{-i\omega t} \cdot \frac{A_0}{a} \cdot \frac{\sin(\frac{\pi}{\lambda} a \sin \theta_x)}{\frac{\pi}{\lambda} \sin \theta_x} \cdot e^{i\frac{\pi}{\lambda} a \sin \theta_x} \cdot e^{i\frac{\pi}{\lambda_1} (N-1)d \sin \theta_x} \cdot \frac{\sin(N \frac{\pi}{\lambda} d \sin \theta_x)}{\sin(\frac{\pi}{\lambda} d \sin \theta_x)} \\
&= A_0 \cdot \frac{\sin(\frac{\pi}{\lambda} a \sin \theta_x)}{\frac{\pi}{\lambda} a \sin \theta_x} \cdot \frac{\sin(N \frac{\pi}{\lambda} d \sin \theta_x)}{\sin(\frac{\pi}{\lambda} d \sin \theta_x)} \cdot e^{i\frac{\pi}{\lambda} [a+(N-1)d] \sin \theta_x - i\omega t}
\end{aligned}
\tag{3-18}$$

E_{x2} 的推导与 E_{x1} 类似，第 n 项的积分项为

$$\begin{aligned}
\int_{(n-1)d+a+d_1}^{(n-1)d+a+d_1+b} e^{i\frac{2\pi}{\lambda} x \sin \theta_x} dx &= \frac{1}{i\frac{2\pi}{\lambda} \sin \theta_x} \cdot e^{i\frac{2\pi}{\lambda} [(n-1)d+a+d_1] \sin \theta_x} \cdot (e^{i\frac{2\pi}{\lambda} b \sin \theta_x} - 1) \\
&= \frac{\sin(\frac{\pi}{\lambda} b \sin \theta_x)}{\frac{\pi}{\lambda} b \sin \theta_x} \cdot e^{i\frac{\pi}{\lambda} [2a+b+2d_1+(N-1)d] \sin \theta_x} \cdot \frac{\sin(N \frac{\pi}{\lambda} d \sin \theta_x)}{\sin(\frac{\pi}{\lambda} d \sin \theta_x)}
\end{aligned}
\tag{3-19}$$

对应地有

$$\begin{aligned}
E_{x2} &= e^{-i\omega t} \cdot \frac{A_0}{b} \cdot \frac{\sin(\frac{\pi}{\lambda} b \sin \theta_x)}{\frac{\pi}{\lambda} \sin \theta_x} \cdot e^{i\frac{\pi}{\lambda} (2a+b+2d_1) \sin \theta_x} \cdot e^{i\frac{\pi}{\lambda_1} (N-1)d \sin \theta_x} \cdot \frac{\sin(N \frac{\pi}{\lambda} d \sin \theta_x)}{\sin(\frac{\pi}{\lambda} d \sin \theta_x)} \\
&= A_0 \cdot \frac{\sin(\frac{\pi}{\lambda} b \sin \theta_x)}{\frac{\pi}{\lambda} b \sin \theta_x} \cdot \frac{\sin(N \frac{\pi}{\lambda} d \sin \theta_x)}{\sin(\frac{\pi}{\lambda} d \sin \theta_x)} \cdot e^{i\frac{\pi}{\lambda} [2a+b+2d_1+(N-1)d] \sin \theta_x - i\omega t}
\end{aligned}
\tag{3-20}$$

求解 E_x 有

$$\begin{aligned}
 E_x &= E_{x1} + E_{x2} \\
 &= A_0 \cdot \frac{\sin(N \frac{\pi}{\lambda} d \sin \theta_x)}{\sin(\frac{\pi}{\lambda} d \sin \theta_x)} \cdot \left\{ \frac{b}{a} \cdot \frac{\sin(\frac{\pi}{\lambda} a \sin \theta_x)}{\frac{\pi}{\lambda} a \sin \theta_x} \cdot e^{i \frac{\pi}{\lambda} [a+(N-1)d] \sin \theta_x - i \omega t} \right. \\
 &\quad \left. + \frac{\sin(\frac{\pi}{\lambda} b \sin \theta_x)}{\frac{\pi}{\lambda} b \sin \theta_x} \cdot e^{i \frac{\pi}{\lambda} [2a+b+2d_1+(N-1)d] \sin \theta_x - i \omega t} \right\}
 \end{aligned}$$

(3-21)

式中, $A_0^2 \cdot \frac{\sin^2(N \frac{\pi}{\lambda} d \sin \theta_x)}{\sin^2(\frac{\pi}{\lambda} d \sin \theta_x)}$ 可看做系数, 括号内求和的部分

分可看做两束相干光的叠加。由相干光合成幅值的计算公式可得:

$$\begin{aligned}
I_x &= A_0^2 \cdot \frac{\sin^2(N \frac{\pi}{\lambda} d \sin \theta_x)}{\sin^2(\frac{\pi}{\lambda} d \sin \theta_x)} \cdot \left\{ \frac{a^2}{b^2} \cdot \frac{\sin^2(\frac{\pi}{\lambda} a \sin \theta_x)}{(\frac{\pi}{\lambda} a \sin \theta_x)^2} + \frac{\sin^2(\frac{\pi}{\lambda} b \sin \theta_x)}{(\frac{\pi}{\lambda} b \sin \theta_x)^2} \right. \\
&\quad \left. + 2 \cdot \frac{a}{b} \cdot \frac{\sin(\frac{\pi}{\lambda} a \sin \theta_x)}{\frac{\pi}{\lambda} a \sin \theta_x} \cdot \frac{\sin(\frac{\pi}{\lambda} b \sin \theta_x)}{\frac{\pi}{\lambda} b \sin \theta_x} \cdot \cos\left[\frac{\pi}{\lambda} (a + b + 2d_1) \sin \theta_x\right] \right\} \\
&= A_0^2 \cdot \frac{\sin^2(N \frac{\pi}{\lambda} d \sin \theta_x)}{\sin^2(\frac{\pi}{\lambda} d \sin \theta_x)} \cdot \left[\frac{\sin^2(\frac{\pi}{\lambda} a \sin \theta_x)}{(\frac{\pi}{\lambda} a \sin \theta_x)^2} + \frac{b^2}{a^2} \cdot \frac{\sin^2(\frac{\pi}{\lambda} b \sin \theta_x)}{(\frac{\pi}{\lambda} b \sin \theta_x)^2} \right. \\
&\quad \left. + 2 \cdot \frac{b}{a} \cdot \frac{\sin(\frac{\pi}{\lambda} a \sin \theta_x)}{\frac{\pi}{\lambda} a \sin \theta_x} \cdot \frac{\sin(\frac{\pi}{\lambda} b \sin \theta_x)}{\frac{\pi}{\lambda} b \sin \theta_x} \cdot \cos\left(\frac{\pi}{\lambda} d \sin \theta_x\right) \right]
\end{aligned} \tag{3-22}$$

式(3-22)即为狭缝宽度交替变化的一维不均匀光栅的光强通用公式。

结合显微像素图，可假设 $a = 2b$ ，任意两个相邻同色像素的中心点间距 $d = 6b$ ，则上式可进一步化简：

$$\begin{aligned}
I_x &= A_0^2 \cdot \frac{\sin^2(N \frac{\pi}{\lambda} 6b \sin \theta_x)}{\sin^2(\frac{\pi}{\lambda} 6b \sin \theta_x)} \cdot \left\{ 4 \cdot \frac{\sin^2(\frac{\pi}{\lambda} 2b \sin \theta_x)}{(\frac{\pi}{\lambda} 2b \sin \theta_x)^2} + \frac{\sin^2(\frac{\pi}{\lambda} b \sin \theta_x)}{(\frac{\pi}{\lambda} b \sin \theta_x)^2} \right. \\
&\quad \left. + 4 \cdot \frac{\sin(\frac{\pi}{\lambda} 2b \sin \theta_x)}{\frac{\pi}{\lambda} 2b \sin \theta_x} \cdot \frac{\sin(\frac{\pi}{\lambda} b \sin \theta_x)}{\frac{\pi}{\lambda} b \sin \theta_x} \cdot \cos(\frac{\pi}{\lambda} 6b \sin \theta_x) \right\} \\
&= A_0^2 \cdot \frac{\sin^2(N \frac{\pi}{\lambda} 6b \sin \theta_x)}{\sin^2(\frac{\pi}{\lambda} 6b \sin \theta_x)} \cdot \left\{ 4 \cdot \frac{4 \sin^2(\frac{\pi}{\lambda} b \sin \theta_x) \cos^2(\frac{\pi}{\lambda} b \sin \theta_x)}{4(\frac{\pi}{\lambda} b \sin \theta_x)^2} + \frac{\sin^2(\frac{\pi}{\lambda} b \sin \theta_x)}{(\frac{\pi}{\lambda} b \sin \theta_x)^2} \right. \\
&\quad \left. + 4 \cdot \frac{2 \sin(\frac{\pi}{\lambda} b \sin \theta_x) \cos(\frac{\pi}{\lambda} b \sin \theta_x)}{\frac{\pi}{\lambda} 2b \sin \theta_x} \cdot \frac{\sin(\frac{\pi}{\lambda} b \sin \theta_x)}{\frac{\pi}{\lambda} b \sin \theta_x} \cdot \cos(\frac{\pi}{\lambda} 6b \sin \theta_x) \right\} \\
&= A_0^2 \cdot \frac{\sin^2(N \frac{\pi}{\lambda} 6b \sin \theta_x)}{\sin^2(\frac{\pi}{\lambda} 6b \sin \theta_x)} \cdot \frac{\sin^2(\frac{\pi}{\lambda} b \sin \theta_x)}{(\frac{\pi}{\lambda} b \sin \theta_x)^2} \\
&\quad \cdot [1 + 4 \cdot \cos^2(\frac{\pi}{\lambda} b \sin \theta_x) + 4 \cdot \cos(\frac{\pi}{\lambda} b \sin \theta_x) \cdot \cos(\frac{\pi}{\lambda} 6b \sin \theta_x)]
\end{aligned} \tag{3-23}$$

此表达式可分为三部分来看， $\frac{\sin^2(N \frac{\pi}{\lambda} 6b \sin \theta_x)}{\sin^2(\frac{\pi}{\lambda} 6b \sin \theta_x)}$ 、 $\frac{\sin^2(\frac{\pi}{\lambda} b \sin \theta_x)}{(\frac{\pi}{\lambda} b \sin \theta_x)^2}$ 为缝间干涉因子和单缝衍射因子， $1 + \cos^2(\frac{\pi}{\lambda} b \sin \theta_x) + 2 \cdot \cos(\frac{\pi}{\lambda} b \sin \theta_x) \cdot \cos(\frac{\pi}{\lambda} 6b \sin \theta_x)$ 则反映出两个光栅相互之间的影响作用，当不均匀光栅的两种缝宽满足一定条件时可化简得到，我将其称为光栅影响因子。

y 方向的衍射情况与 x 方向相同，二维光栅衍射的光强分布公式为 $I = I_x \cdot I_y$ ，即：

$$\begin{aligned}
 I = A_0^2 \cdot & \frac{\sin^2(N \frac{\pi}{\lambda} 6b \sin \theta_x)}{\sin^2(\frac{\pi}{\lambda} 6b \sin \theta_x)} \cdot \frac{\sin^2(\frac{\pi}{\lambda} b \sin \theta_x)}{(\frac{\pi}{\lambda} b \sin \theta_x)^2} \\
 & \cdot \frac{\sin^2(N \frac{\pi}{\lambda} 6b \sin \theta_y)}{\sin^2(\frac{\pi}{\lambda} 6b \sin \theta_y)} \cdot \frac{\sin^2(\frac{\pi}{\lambda} b \sin \theta_y)}{(\frac{\pi}{\lambda} b \sin \theta_y)^2} \\
 & \cdot [1 + 4 \cdot \cos^2(\frac{\pi}{\lambda} b \sin \theta_x) + 4 \cdot \cos(\frac{\pi}{\lambda} b \sin \theta_x) \cdot \cos(\frac{\pi}{\lambda} 6b \sin \theta_x)] \\
 & \cdot [1 + 4 \cdot \cos^2(\frac{\pi}{\lambda} b \sin \theta_y) + 4 \cdot \cos(\frac{\pi}{\lambda} b \sin \theta_y) \cdot \cos(\frac{\pi}{\lambda} 6b \sin \theta_y)]
 \end{aligned}
 \tag{3-24}$$

3.4 matlab 仿真

根据上述推导公式，编写 matlab 代码，对一维均匀光栅、二维均匀光栅、一维不均匀光栅和二维不均匀光栅分别进行仿真，得到如下仿真图形。

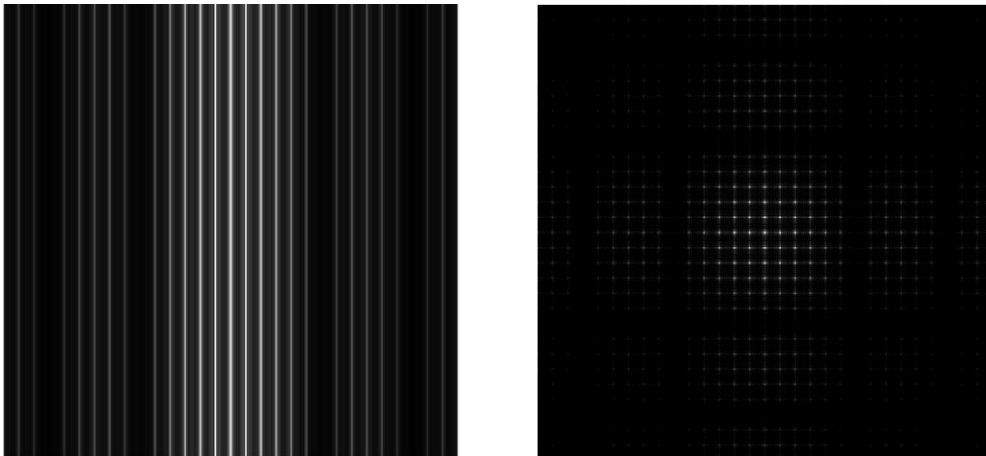


图 3.7 一维与二维均匀光栅衍射图

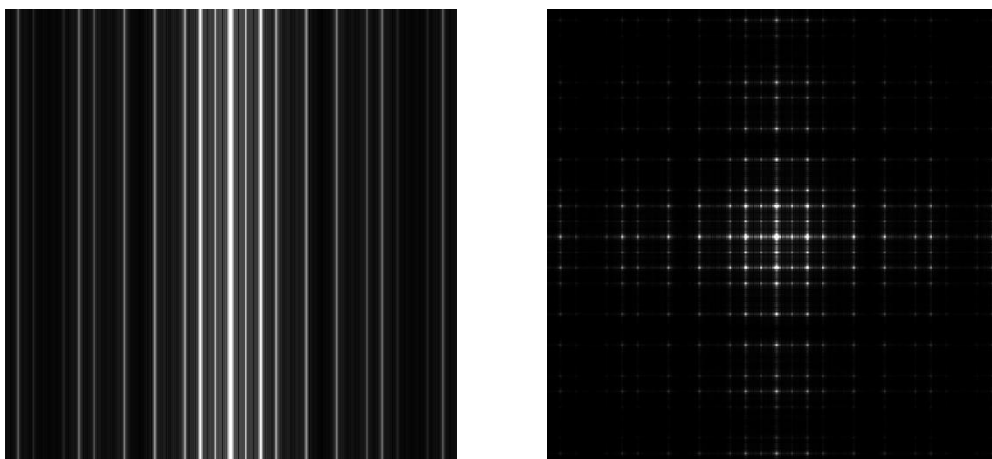


图 3.8 一维与二维不均匀光栅衍射图

可以看出，无论是一维还是二维光栅，均匀衍射图样与不均匀衍射图样均有着明显的区别。对于二维光栅来说，其衍射图样的整体形状仍呈现十字架型，部分衍射点得到加强，部分位置则出现暗斑，它是受光栅影响因子调制而来的结果，在物理上体现出光栅不均匀性的影响。

3.5 基于傅里叶变换的更准确图样仿真

观察图像后，我认为光栅不均匀对衍射图样能产生很大的影响，而在对手机像素进行推导的过程中，使用了一些假设，把部分不均匀的性质抹除了，这样近似结果是否会受到影响呢？本部分针对此问题，进行了更深入的探究。

首先仍旧考虑直接用合振动的方法推导，但此时考察 x 方向，光栅出现了两种周期的不均匀光栅，此时直接求解的困难更大。通过查阅教材，发现光栅强度的仿真还有一种方法：基于傅里叶变换求解。

引入孔径函数：

$$A(x) = \begin{cases} 1, & \text{当此处为孔隙} \\ 0, & \text{当此处为障碍} \end{cases} \quad (3-25)$$

则任意孔（或缝隙）的振动方程为：

$$E_x = e^{-i\omega t} \frac{A_0}{a} \int_{-\infty}^{\infty} A(x) \cdot e^{i\frac{2\pi}{\lambda}x\sin\theta} dx \quad (3-26)$$

式中 $\int_{-\infty}^{\infty} A(x) \cdot e^{i\frac{2\pi}{\lambda}x\sin\theta} dx$ 具有与傅里叶反变换相似的形式，

而在实际计算中用傅里叶变换来表征这一变化，即在夫琅禾费衍射中，衍射图样的光照强度即为孔径函数的傅里叶变换。基于这一结论，在求解光栅衍射图样的光照强度时，可以先写出孔径函数，再利用傅里叶变换计算出光强。

基于这样的思路，采用了新的仿真方法，首先得到手机屏幕像素的孔径函数，进而求解其傅里叶变换，最后绘制出仿真图样。利用这种方法，可绘制出两种 LCD 和 OLED 共三种屏幕的仿真衍射图^[3]。

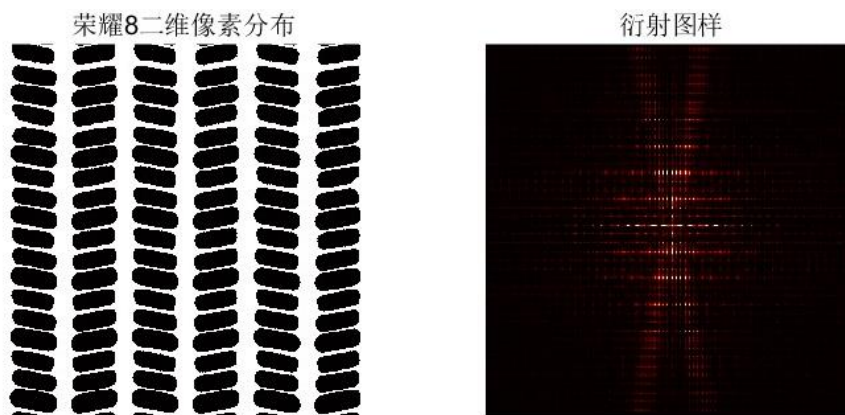


图 3.9 荣耀 8 屏幕像素分布与衍射图样

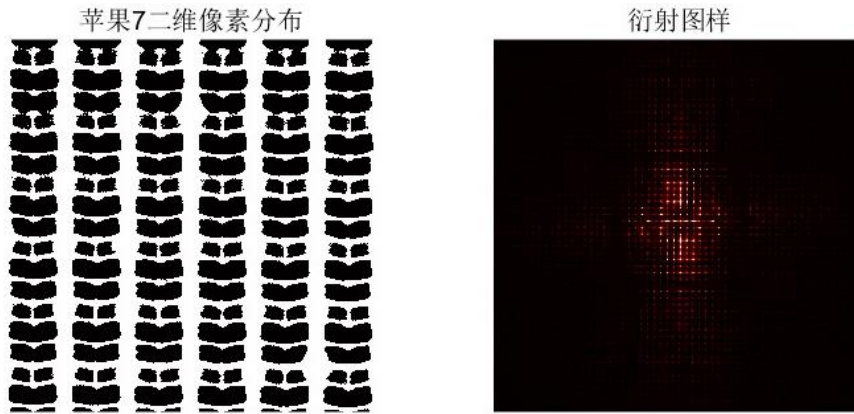


图 3.10 iPhone7Plus 屏幕像素分布与衍射图样

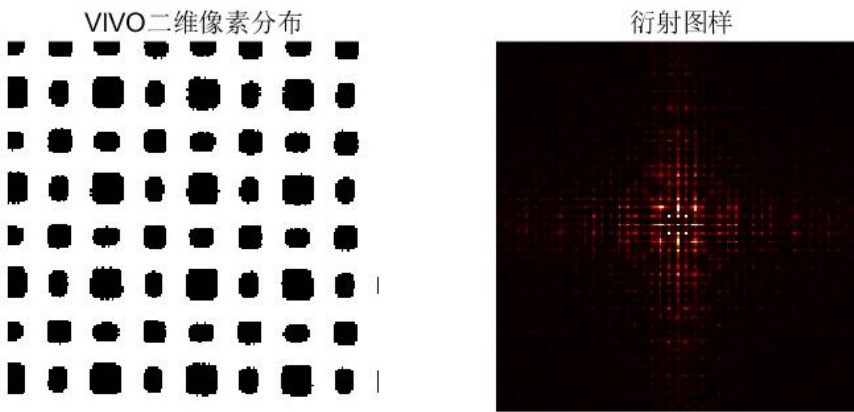


图 3.11 VIVO 屏幕像素分布与衍射图样

可以看出， OLED 屏幕与之前的仿真结果大致结构相同，这说明在不均匀项的差别很小时对衍射图的影响不大，尽管二值化后的像素点分布图存在许多毛刺、凹陷等不平滑处，衍射图的基本结构仍然与理论推导的结果一致。换言之，在不均匀光栅的不同缝宽相差很小时，不均匀光栅衍射可以近似地看成均匀的光栅衍射。

LCD 屏幕的仿真效果与 OLED 屏有明显的差别，荣耀 8 屏幕形成的衍射图样中，有倾斜发散的 x 型条纹，这可能是由于每列光栅都具有一定的倾斜角度； iPhone7Plus 屏幕

形成的衍射图样则相对均匀，可能是由于每个子像素的形状都是中心对称的。

四、手机屏幕衍射实验

4.1 实验器材的准备

影响光栅图样的因素包括入射角、投影距离、入射光波长等等。为了测试入射光波长对衍射图样的影响，我选用了波长为 650nm，功率为 40mw 的红色激光笔和波长为 532nm，功率为 70mw 的绿色激光笔，如图 4.1 所示。



图 4.1 选用的激光器及其规格

将激光直接照在墙面上，可以看到图 4.2 所示的激光点。



图 4.2 激光直接照在墙面上图样

在黑暗的环境下，用激光器照射手机屏幕，能够很清楚地看到墙面上出现了方格状的图形，这说明实验是可行的，手机屏幕确实可以作为二维反射光栅。

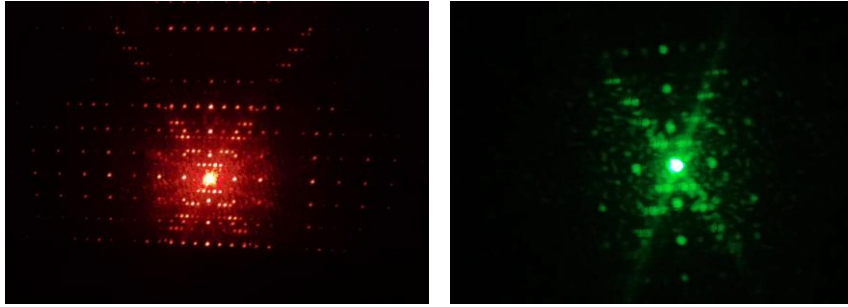


图 4.3 初步实验的粗略图样

为了进一步研究入射角等因素的影响，满足衍射实验中的各种水平与垂直的要求，我搭建了一个实验平台。将手机放在手机支架上，利用三角板测量其是否垂直，调整好后利用胶带将其固定好。将一张打印纸粘贴在一个可移动的板子上，作为显示屏，在显示屏上打孔，根据小孔的实际高度垫上一些书本及打印纸，调整打印纸的张数，使激光笔产生的激光刚好可以从小孔穿过，照在手机屏上。调整显示屏的角度，利用三角板及卷尺，使其与手机屏平行，并距离手机屏 50cm。激光通过小孔照在手机屏上，发生衍射，然后将衍射图样反射在显示屏上。如果需要改变激光的入射角度，只需要将手机支架旋转相应的角度，再将显示屏放在相应的与手机屏平行的位置即可。实验平台的俯视图（垂直状态）如图 4.4 所示。



图 4.4 实验平台的俯视图

此时，将荣耀 8 手机放置在手机支架上，手机屏幕正对激光器，打开激光器后，显示屏上出现了衍射图样，如图 4.5，图像较为清晰，可进一步开展观察。

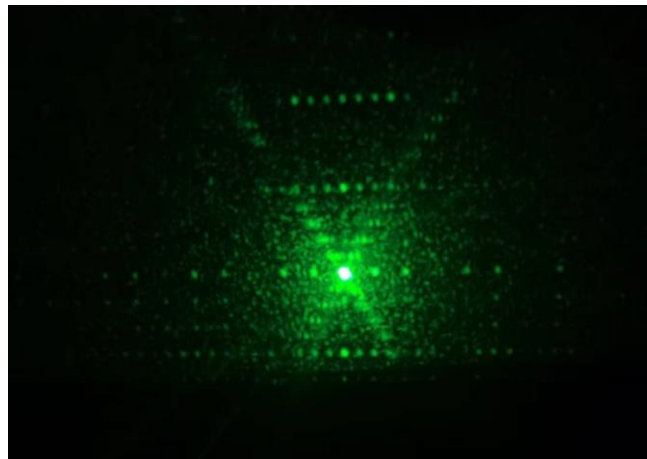


图 4.5 激光垂直照射荣耀 8 手机屏时的衍射图样

4.2 不同手机衍射图样对比

分别用准备好的手机进行实验，得到的衍射图形如下图所示。

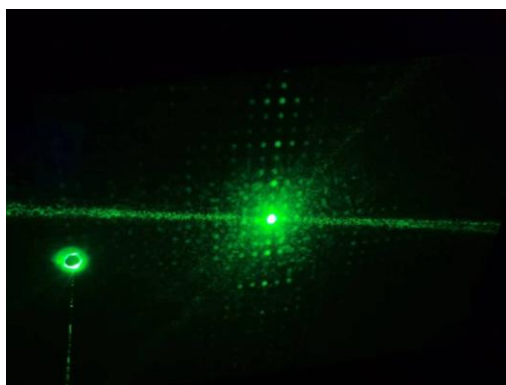


图 4. 6 iPhone7Plus 衍射图样

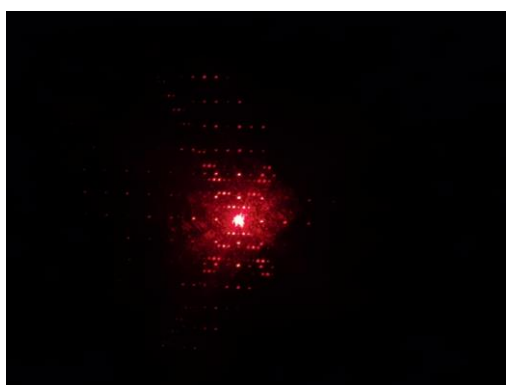


图 4. 7 荣耀 8 衍射图样

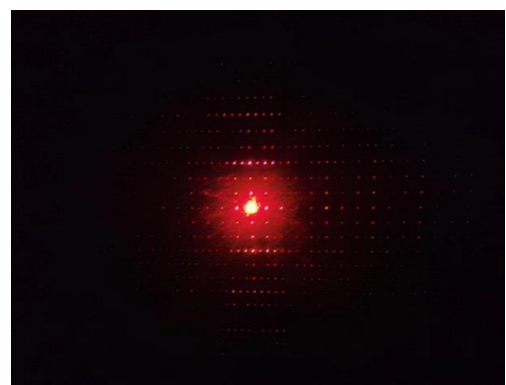


图 4. 8 VIVO 衍射图样

可以看出实测的衍射图样与仿真结果的图形分布非常类似，荣耀 8 的衍射图样中，x 型非常明显，VIVO 图样中

间正方形的亮度较高，周围则较为暗淡，这印证了理论公式推导与傅里叶变换两种求解方式的正确性。

4.3 亮屏与熄屏状态下的衍射图样

在手机屏幕亮起时，像素点会发光，而熄灭时则不会，那么手机的亮屏与熄屏是否会对衍射图样产生干扰呢？针对这个问题，将亮屏与熄屏时的衍射图样进行了对比实验。

将手机摆放好对准激光笔后，对亮屏和熄屏状态下的衍射图样分别进行拍照。由于手机屏幕中具有三种颜色的像素点，为了排除光的颜色，也即波长的影响，采用红色和绿色激光笔分别进行了亮屏和熄屏实验。

上述实验得到以下的衍射图样：

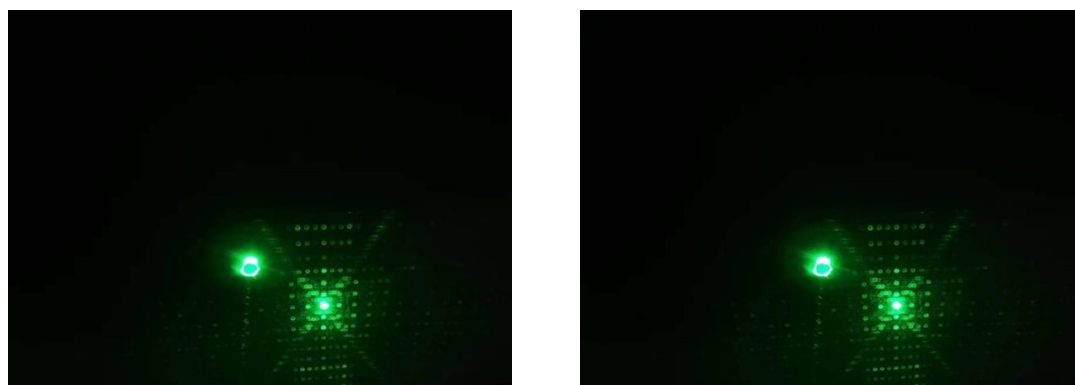


图 4.9 绿光下荣耀 8 亮屏与熄屏衍射图样

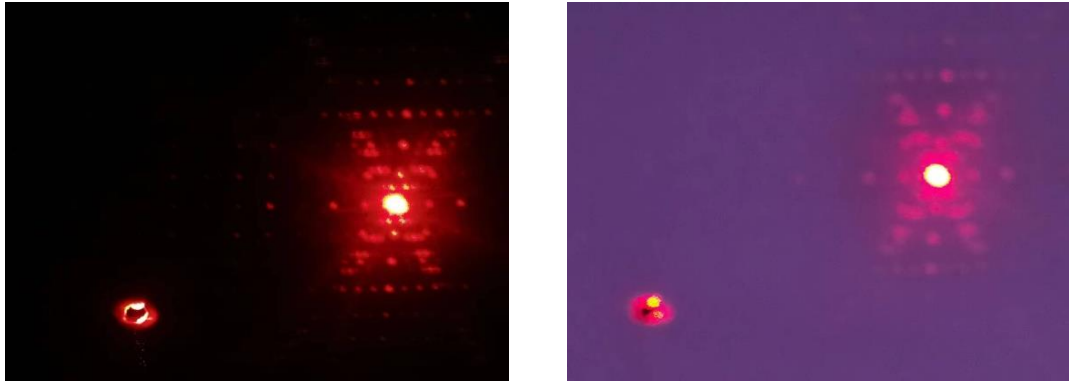


图 4.10 红光下荣耀 8 亮屏与熄屏衍射图样

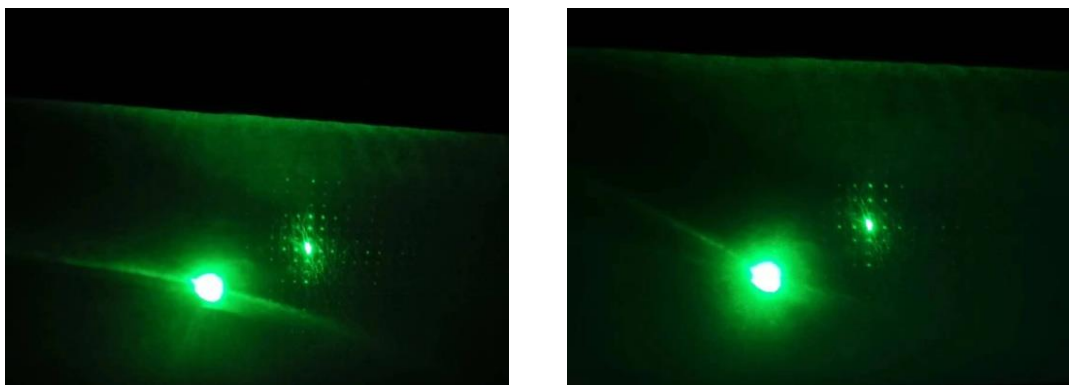


图 4.11 绿光下 iPhone7Plus 亮屏与熄屏衍射图样

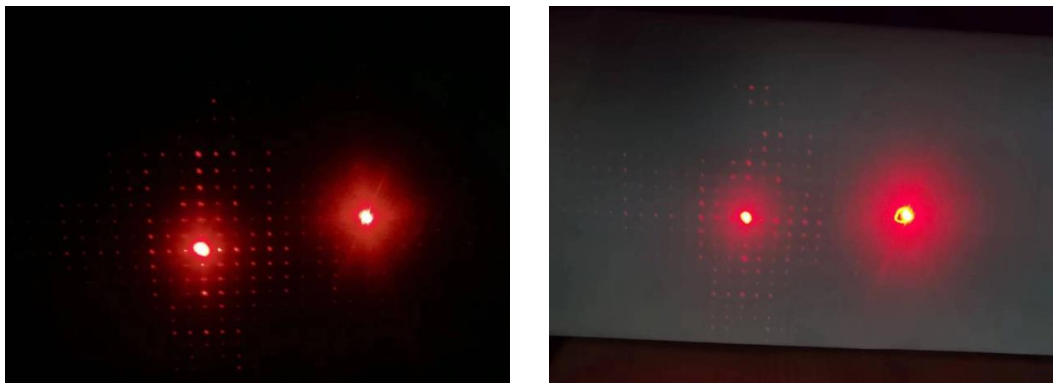


图 4.12 红光下 iPhone7Plus 亮屏与熄屏衍射图样

可以看出，无论是何种波长的光照下，亮屏与熄屏状态下同一部手机的衍射图样均相同，这说明亮屏和熄屏状

态不会对衍射图样产生影响。通过目测，利用绿光产生的衍射图像更加清晰一些。

4.4 入射光角度对衍射图样的影响

由光栅方程可知，入射光的角度会对衍射图样产生影响，接下来通过实验对这一影响进行验证，选取 Vivo S9e 和 iPhone7Plus 分别作为 OLED 和 LCD 屏幕的代表开展实验。

具体做法如下：

(1) 测量入射光的角度为 0 度时的衍射图样。采用类似图 4.1 的实验平台，此时需要将量角器放置在手机支架前面，量角器的 0 刻线与手机下边缘重合，0 刻线的中点对着手机的下边线中心，显示屏与手机屏间隔 50cm，且互相平行，激光笔产生的激光垂直射向显示屏。打开红色激光笔，在黑暗中观察显示屏上的衍射图样，并拍照记录。换上绿色激光笔，重复刚才的实验过程。

将手机换为 LCD 屏幕手机，分别打开红色及绿色激光笔，重复刚才的实验过程，观察显示屏上的衍射图样，并拍照记录。

(2) 将手机依次与 30 度、45 度、60 度、120 度、135 度、150 度的刻度线重合，并根据角度依次调整显示屏的位置与方向，对其衍射图样分别进行观察，并拍照记录。

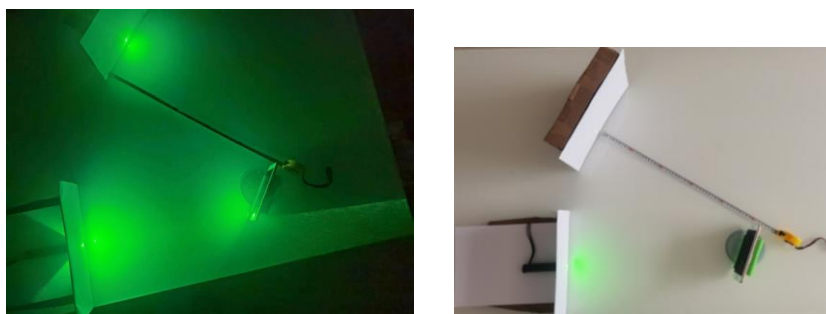


图 4.13 入射角 30 度角下的衍射实验平台（黑暗中和日光下）

上述实验得到了以下的衍射图样：

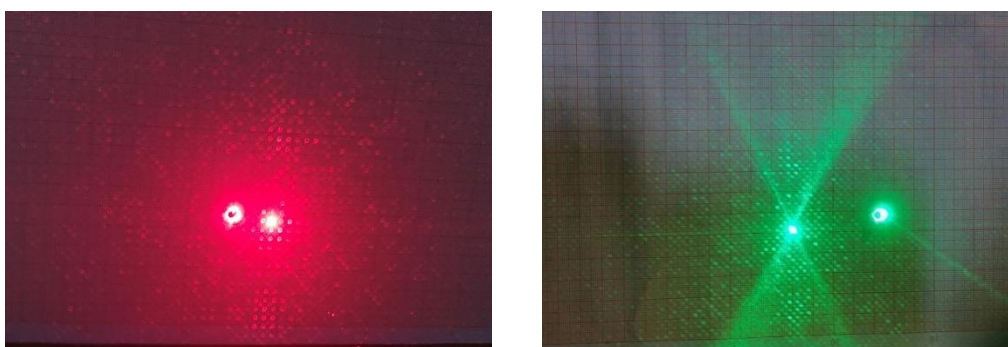


图 4.14 垂直入射 OLED 屏幕的衍射图样

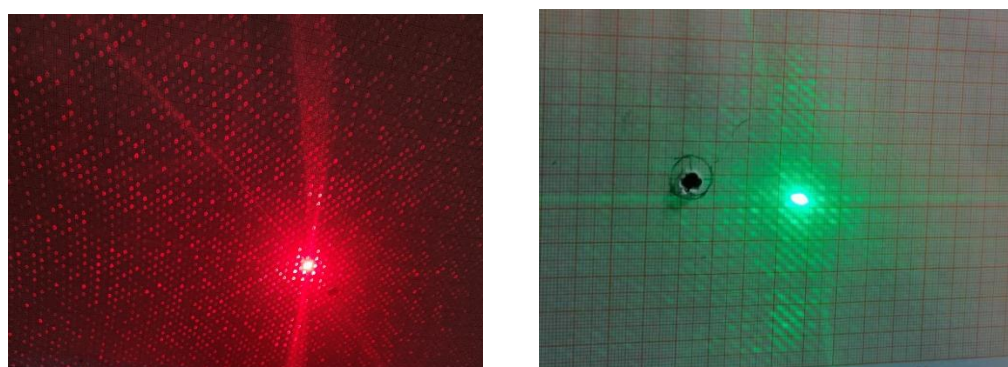


图 4.15 激光右偏 30 度入射时 OLED 屏幕的衍射图样

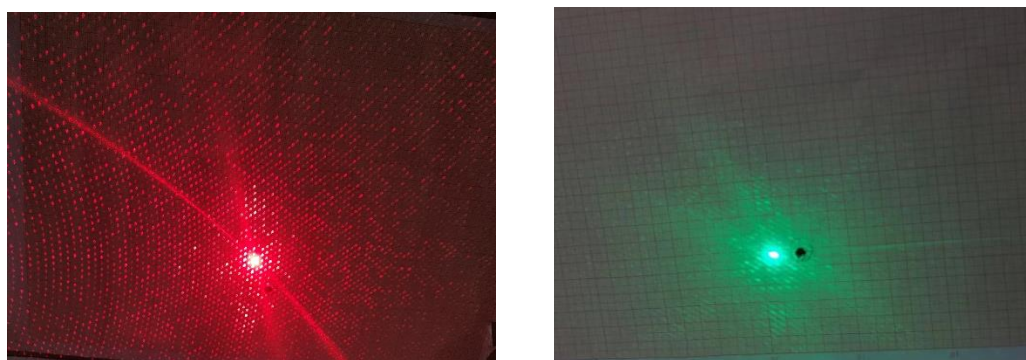


图 4.16 激光右偏 45 度入射时 OLED 屏幕的衍射图样

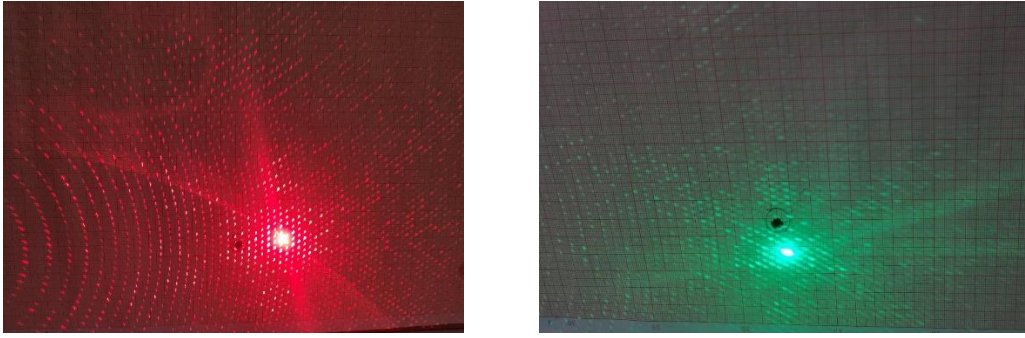


图 4.17 激光右偏 60 度入射时 OLED 屏幕的衍射图样

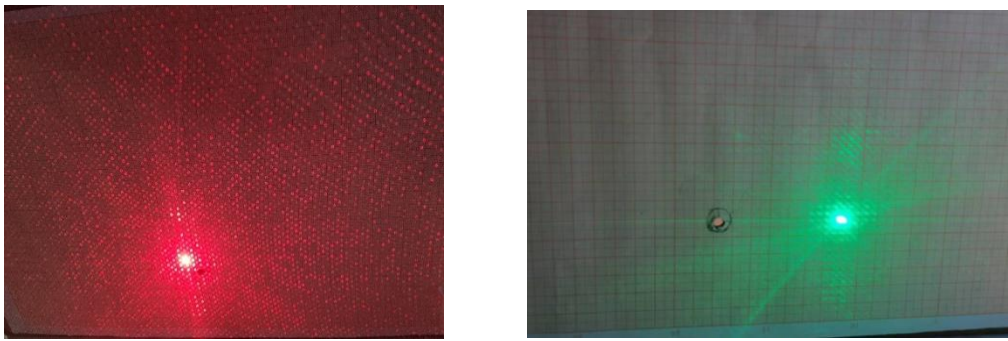


图 4.18 激光左偏 30 度入射时 OLED 屏幕的衍射图样

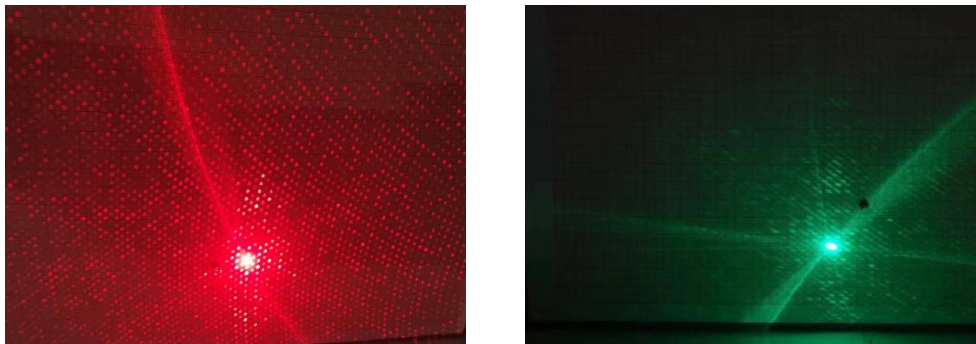


图 4.19 激光左偏 45 度入射时 OLED 屏幕的衍射图样

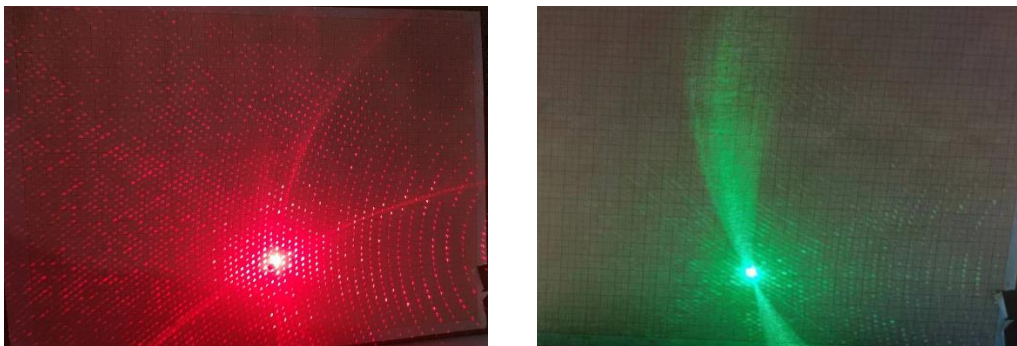


图 4.20 激光左偏 60 度入射时 OLED 屏幕的衍射图样

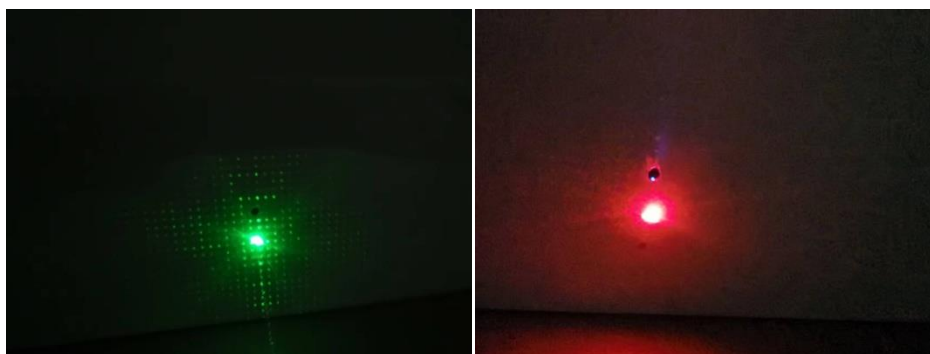


图 4. 21 激光垂直入射时 LCD 屏幕的衍射图样



图 4. 22 激光右偏 30 度入射时 LCD 屏幕（以 iPhone 7 plus 为例）的衍射图样



图 4. 23 激光右偏 45 度入射时 LCD 屏幕（以 iPhone 7 plus 为例）的衍射图样

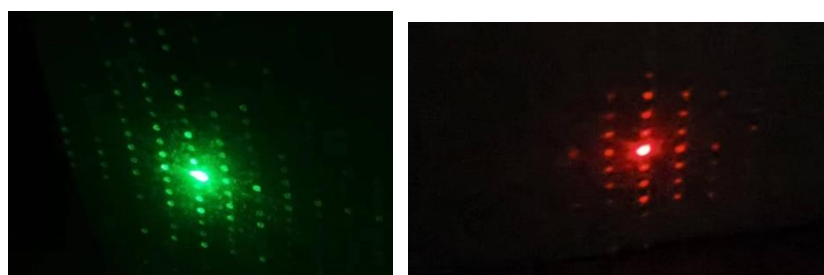


图 4. 24 激光右偏 60 度入射时 LCD 屏幕（以 iPhone 7 plus 为例）的衍射图样

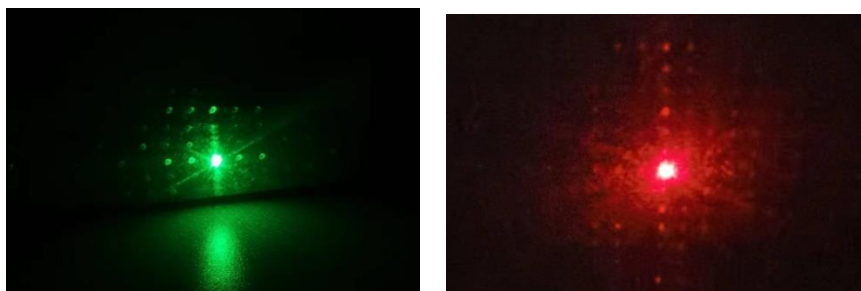


图 4.25 激光左偏 30 度入射时 LCD 屏幕（以 iPhone 7 plus 为例）的衍射图样

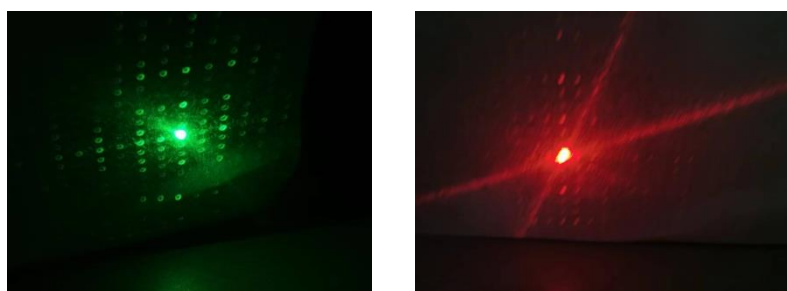


图 4.26 激光左偏 45 度入射时 LCD 屏幕（以 iPhone 7 plus 为例）的衍射图样

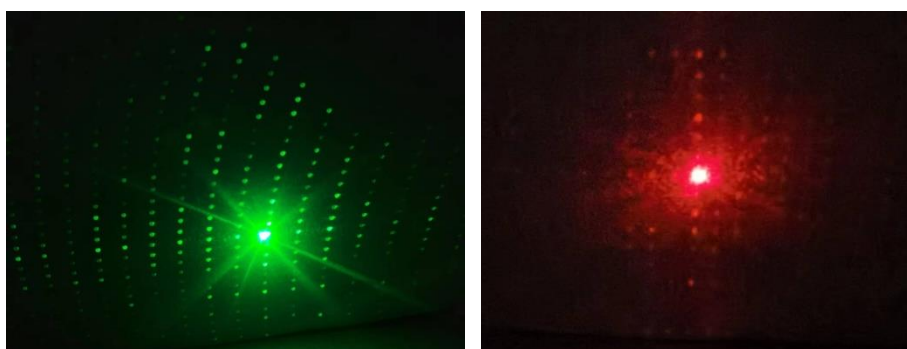


图 4.27 激光左偏 60 度入射时 LCD 屏幕（以 iPhone 7 plus 为例）的衍射图样

为了测得衍射图样的相关数据，在显示屏处固定了带刻度的纸。在激光不同角度入射的衍射图样中以中心大亮斑为坐标原点，水平轴为 x 轴，向右为正，向左为负。在 x 轴上以坐标原点为中点，向左、右分别记录 3 个亮斑的坐标（以红色激光入射为例）：

表 4.1 红色激光入射的 OLED 屏幕衍射图样数据

入射角度/ $^{\circ}$	位置坐标/ (CM)							$\overline{\Delta x}$
-60	-1.62	-1.20	-0.57	0.00	0.54	1.08	1.58	0.533
-45	-1.56	-1.05	-0.55	0.00	0.53	1.03	1.56	0.518

-30	-1.49	-1.03	-0.49	0.00	0.49	1.04	1.53	0.504
0	-1.42	-0.93	-0.46	0.00	0.47	0.91	1.48	0.484
30	-1.54	-1.02	-0.49	0.00	0.49	1.00	1.51	0.509
45	-1.58	-1.04	-0.51	0.00	0.51	1.06	1.59	0.528
60	-1.70	-1.12	-0.55	0.00	0.55	1.07	1.64	0.557

表 4.2 红色激光入射的 LCD 屏幕衍射图样数据

入射角度/ $^{\circ}$	位置坐标/ (CM)							$\overline{\Delta x}$
-60	-1.93	-1.35	-0.64	0.00	0.65	1.32	1.91	0.640
-45	-1.50	-1.04	-0.52	0.00	0.51	1.03	1.56	0.510
-30	-1.48	-0.99	-0.47	0.00	0.49	1.02	1.51	0.497
0	-1.42	-0.95	-0.47	0.00	0.45	0.90	1.37	0.466
30	-1.50	-1.03	-0.50	0.00	0.45	0.98	1.42	0.487
45	-1.53	-1.11	-0.51	0.00	0.53	1.06	1.55	0.513
60	-1.88	-1.27	-0.61	0.00	0.63	1.27	1.92	0.633

将不同入射角度下衍射图样两个亮点间的平均距离 $\overline{\Delta x}$ 绘制成折线图如下两图所示，可以发现 $\overline{\Delta x}$ 随着入射光偏转角度的增大而增大，与理论分析相互验证。

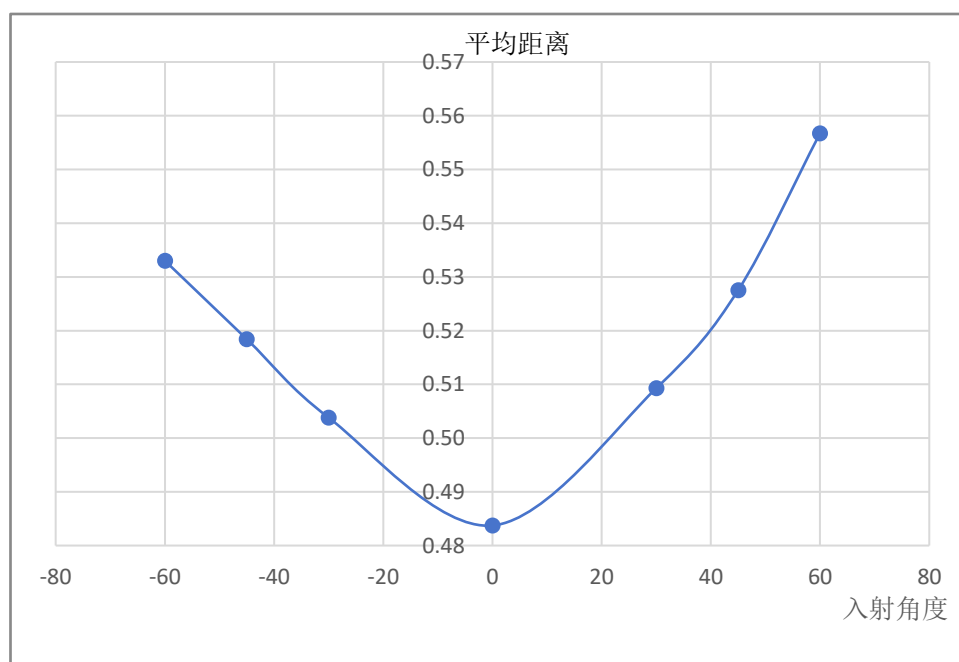


图 4.28 红色激光入射 OLED 屏幕的平均距离变化

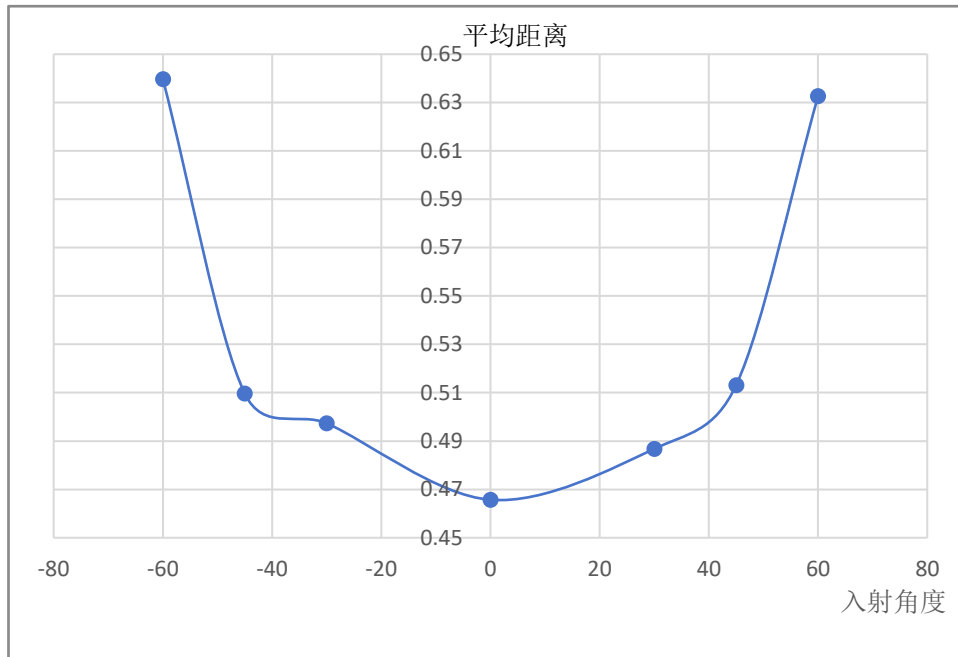


图 4.29 红色激光入射 LCD 屏幕的平均距离变化

4.5 手机屏幕 PPI 的计算

由表 4.1 中的数据可得 Δx 的平均测量值:

$$\overline{\Delta x} = 0.484 \text{ cm} \quad (4-1)$$

将 $\lambda, L, \Delta x$ 代入式(3-5)可得近似的光栅常数

$$d = \frac{\lambda L}{\Delta x} = \frac{638 \times 10^{-9} \times 50 \times 10^{-2}}{0.484 \times 10^{-2}} = 6.59 \times 10^{-5} \text{ m} \quad (4-2)$$

由此可得 PPI 的测量值:

$$PPI_m = \frac{1}{39.37d} = \frac{1}{39.37 \times 6.59 \times 10^{-5}} = 385.38 (1/\text{inch}) \quad (4-3)$$

此型号手机的 PPI 理论值为 408, 可得测量的误差为

$$E = \left| \frac{PPI_m - PPI_r}{PPI_r} \right| \times 100\% = \left| \frac{385.38 - 408}{408} \right| \times 100\% = 5.54\% \quad (4-4)$$

同样方法可算得 LCD 屏幕手机的 PPI 为 371.05，误差为 7.45%。两结果的误差均比较小，因此利用手机屏幕的衍射图样对手机屏幕 PPI 进行测算是可行的。

五、结论

通过本次实验，可以得到如下的几个结论。

1、借助微元法和定积分运算，可推导出一维不均匀光栅的光强分布函数为

$$I = A_0^2 \cdot \frac{\sin^2(N \frac{\pi}{\lambda} d \sin \theta)}{\sin^2(\frac{\pi}{\lambda} d \sin \theta)} \cdot \left[\frac{\sin^2(\frac{\pi}{\lambda} a \sin \theta)}{(\frac{\pi}{\lambda} a \sin \theta)^2} + \frac{\sin^2(\frac{\pi}{\lambda} b \sin \theta)}{(\frac{\pi}{\lambda} b \sin \theta)^2} + 2 \cdot \frac{\sin(\frac{\pi}{\lambda} a \sin \theta)}{\frac{\pi}{\lambda} a \sin \theta} \cdot \frac{\sin(\frac{\pi}{\lambda} b \sin \theta)}{\frac{\pi}{\lambda} b \sin \theta} \cdot \cos(\frac{\pi}{\lambda} d \sin \theta) \right]$$

特殊地，当光栅间隙宽度满足一定条件时，光强分布函数可进一步分解为

$$I_x = A_0^2 \cdot \frac{\sin^2(N \frac{\pi}{\lambda} 6b \sin \theta_x)}{\sin^2(\frac{\pi}{\lambda} 6b \sin \theta_x)} \cdot \frac{\sin^2(\frac{\pi}{\lambda} b \sin \theta_x)}{(\frac{\pi}{\lambda} b \sin \theta_x)^2} \cdot [1 + \cos^2(\frac{\pi}{\lambda} b \sin \theta_x) + 2 \cdot \cos(\frac{\pi}{\lambda} b \sin \theta_x) \cdot \cos(\frac{\pi}{\lambda} 6b \sin \theta_x)]$$

二维不均匀光栅的光强分布函数为：

$$I = A_0^2 \cdot \frac{\sin^2(N \frac{\pi}{\lambda} 6b \sin \theta_x) \sin^2(\frac{\pi}{\lambda} b \sin \theta_x)}{\sin^2(\frac{\pi}{\lambda} 6b \sin \theta_x) (\frac{\pi}{\lambda} b \sin \theta_x)^2} \cdot \frac{\sin^2(N \frac{\pi}{\lambda} 6b \sin \theta_y) \sin^2(\frac{\pi}{\lambda} b \sin \theta_y)}{\sin^2(\frac{\pi}{\lambda} 6b \sin \theta_y) (\frac{\pi}{\lambda} b \sin \theta_y)^2} \cdot [1 + 4 \cdot \cos^2(\frac{\pi}{\lambda} b \sin \theta_x) + 4 \cdot \cos(\frac{\pi}{\lambda} b \sin \theta_x) \cdot \cos(\frac{\pi}{\lambda} 6b \sin \theta_x)] \cdot [1 + 4 \cdot \cos^2(\frac{\pi}{\lambda} b \sin \theta_y) + 4 \cdot \cos(\frac{\pi}{\lambda} b \sin \theta_y) \cdot \cos(\frac{\pi}{\lambda} 6b \sin \theta_y)]$$

这表明二维不均匀光栅反射光受到单孔衍射、多孔干涉和光栅间影响的共同作用。

2、利用 matlab 绘制了 OLED 和 LCD 屏幕的仿真图样，与实验结果图相对比，印证了理论推导的合理性。

3、手机屏幕的亮起与否不会影响光栅的衍射图形。

4、利用手机光栅衍射图，可以测量出手机屏幕 PPI，且准确度较高。

5、应用设想：

(1) 利用衍射图样的形态判断出手机屏幕的像素排列方式和手机型号。

通过前面的理论分析、仿真及实验研究，可以看出，OLED 与 LCD 屏幕的光栅衍射图样是不相同的；即使为同种屏幕，例如荣耀 8 和 iPhone7Plus 都是 LCD 屏幕，但它们的像素排列有所不同，因而光栅衍射图样还是有一些差别的。利用这种差别，可以利用衍射图样的形态判断出手机

屏幕的像素排列方式和可能的手机型号。具体做法为：首先收集各种手机的光栅衍射图样构成一个图库，然后采集一个未知其像素排列方式的手机的光栅衍射图样，并对图样进行预处理，并提取其特征，之后与图库中的光栅衍射图样进行匹配，最终识别出其手机屏幕的显示方式和手机的型号。

（2）利用衍射图样判断手机屏的质量。

通过显微镜下的屏幕像素分布图可以看出，各种手机其屏幕的像素点排列都是有一定规律的，构成了二维光栅，从而利用激光器产生的激光照射屏幕后形成了各自的光栅衍射图样。若某一手机其屏幕有些像素点出现问题，则会影响其构成的二维光栅的结构，使得其产生的光栅衍射图样的形状发生变化。将采集到的光栅衍射图样与正常像素点分布时的光栅衍射图样进行对比，可以判断出被检测手机屏幕是否存在质量问题。

上述手机屏幕光栅衍射应用只是一些初步想法，后续可进一步开展研究与实验加以验证。

参考文献

- [1] https://zhuanlan.zhihu.com/p/109841385?utm_id=0
- [2] 姚启钧. 光学教程 (第六版) [M]. 高等教育出版社, 2019, 03.
- [3] 欧攀. 高等光学仿真——光波导, 激光 (第3版) [M]. 北京航空航天大学出版社, 2019. 12.
- [4] 杜微, 朱有程, 周子昂, 胡经国. 利用智能手机研究二维光栅衍射[J]. 物理教师, 2021, 42(5): 50-52.

致谢

可以说，生活中的物理原理无处不在。小时候看到雨后出现的彩虹，感觉无比神奇。等到学习了相关的物理知识后，知道了形成彩虹的原因是因为阳光射到空中接近球形的小水滴时，发生反射和折射形成的。光具有许多神奇的性质，在生活中经常会产生有趣的现象。身边的电子产品的屏幕在遇到光后，会出现非常漂亮的图案。这些图案都非常漂亮绚丽，但直接观察电子产品的屏幕，并不能看到这些奇妙的图形，因此我经常思索这些图案是从哪里来的，产生的原因又是什么。

后来在物理课程中学习了光的衍射这一现象。经过查阅资料，也了解到许多电子屏幕中都有规则排列的像素点，可以看作是光栅。

了解了手机屏幕与光栅后，我又产生了更多的问题，带着这些问题，我通过理论推导、软件仿真、实验测量等方法，对智能手机屏幕光栅展开研究与分析。

本次研究是在陈清伟老师的指导下完成的。整个研究过程中要学习的东西很多，付出的很多，但是收获很大。本次研究中的实验部分，包括实验平台的设计、实验的内容及步骤，以及后续的论文撰写方法等都是在陈老师的精心指导下完成的。实验中出现图形不清晰、读数困难等问

题时，陈老师出谋划策，百忙之中到实验现场指导，帮助解决问题。在陈老师的帮助及我的努力下，克服各种困难，最终完成了此篇论文。整个论文工作，不仅培养了我的学习能力，锻炼了我的编程能力和实验动手能力，而且加深了我与陈老师之间的师生情，我的每一点进步都离不开她的指导与鼓励，在此向无私奉献的陈老师表示深深地谢意！

对论文的撰写过程中所有的帮助一并表示感谢！

附录 1：光强公式仿真代码

```
clc;
clear;

L=0.1;
N=1048;

M=10;
d=15*10(-5);
a=d/3;
b=d/6;
lambda=500*10(-9);
H=1;

x=linspace(-L/2,L/2,N);
y=x;
thetax=atan(x/H);

u=pi*b*sin(thetax)/lambda;
v=pi*d*sin(thetax)/lambda;
Ix1=(sin(u)./u).^2;
Ix2=(sin(M*v)./(M.*sin(v))).^2;
Ix3=(1+4.*cos(u).^2+4.*cos(u).*cos(6*u));
Ix=Ix1.*Ix2.*Ix3;
I=Ix'*Ix;

imshow(nthroot(I,3))
colormap gray
axis square;
```

附录 2：傅里叶变换仿真代码

```
clc;
clear;
fig_rgb=imread('guangshan.png');
fig_gray= rgb2gray(fig_rgb);
[m,n]=size(fig_gray);
for i=1:1:m
    for j=1:1:n
        if abs(fig_gray(i,j)<=80)
            A(i,j)=1;
        else
            A(i,j)=0;
        end
    end
end
subplot(1,2,1)
imshow(A)
title('手机屏幕二维像素分布');

fft_v = abs(fft2(A));
fft_v = fftshift(fft_v);
subplot(1,2,2)
imshow(nthroot(fft_v/max(max(fft_v)),1));
colormap(hot);
clim([0,0.05]);
title('衍射图样');
```