

第十七章 紅外透鏡 (Infrared Lens)

紅外透鏡與可見光波段設計的透鏡有幾個重要的不同點：

1. 可選擇的材質較少。幸運地是，可用的材質具有高折射率及低色散（鍺，）
2. 由於這些材質的高價位以及其相對的低穿透率，透鏡元件的厚度應保持在最小。這些材質許多都是且有色散，另一個透鏡要薄的理由。

3. 長波長表示需要較低的解析度。

4. 鏡筒的壁面會放出輻射且貢獻到背景中。

5. 檢測器通常為直線陣列，和底片或眼睛對比。這些來測器通常都是

6. 必須檢查檢測器是否自身成像（narcissus，見Hudson, 1976, P.275）

在大氣中吸附H₂O，CO₂，以及N₂O導致不同的傳遞”視窗”或範圍。在1~4mm範圍主要被吸附且在4~5mm也是主要被吸附的。因此，二個主要的紅外光窗口為3.2~4.2mm以及8~14mm【參見The Infrared Handbook, Wolf及Zissis (1985) P.5-88到5-90】

紅外掃描系統使用在廣泛變化的工業及軍事方法上例如癌症檢查（乳房X光照片），電子線路析上的除錯，軍事夜視系統，以及熱 軸承和火車輪的檢測等。

除了在紅外波段，單元件透鏡自身使用在成像用途上是罕見的。（明顯的例子外為使用在平價箱型相機的凹凸透鏡。也可見第24章的單元件雷射聚焦透鏡）。然而在紅外光，高折射率的鍺（且通常IR較低的解析度需求）使簡單的凹凸透鏡成為有用的裝置。

對一個遠距物體和薄透鏡而言，最小的球面像差由下式所給（Riedl, 1974）

$$\frac{R_2}{R_1} = \frac{2N^2 + N}{2N^2 - 4 - N}$$

其中R1和R2為前端與後端的透鏡半徑。

在表17-1和17-2，給了不同材質透鏡的R1，R2，T（中央厚度）及BFL。等效焦距長為10，直徑為3。使用上述公式，算出R1和R2且選擇使邊緣厚度為0.1的中心厚度。（然後透鏡被放大到10EFL）。表17-1和17-2由附錄J的程式BE-ST所計算出。

R1	R2	T	BFL	材質
9.940	16.640	0.146	9.896	Silicon
8.934	23.994	0.180	9.882	As ₂ S ₃
8.968	23.645	0.179	9.883	ZnSe
8.640	27.486	0.190	9.878	ZnS
10.213	15.249	0.137	9.899	Germanium

表17-1

R1	R2	T	BFL	材質
10.203	15.297	0.137	9.899	Germanium
8.920	24.134	0.180	9.882	ZnSe
8.524	29.181	0.194	9.876	ZnS

表17-2

圖17-1指出一個FLIR（前視型紅外光）系統如何操作。物鏡在IR檢測器上的線性陣列上形成影像。每個檢測器的放大輸出驅動一個對應LED（光激發二極體）。這個LED陣列被成像，從掃描鏡後端反射之後，到一個影像管（光導攝像管）。這依次驅動了一般的陰本射線管影顯示。由這個方式，一個掃描的紅外影像在電視型的螢幕上被轉換成可見影像。

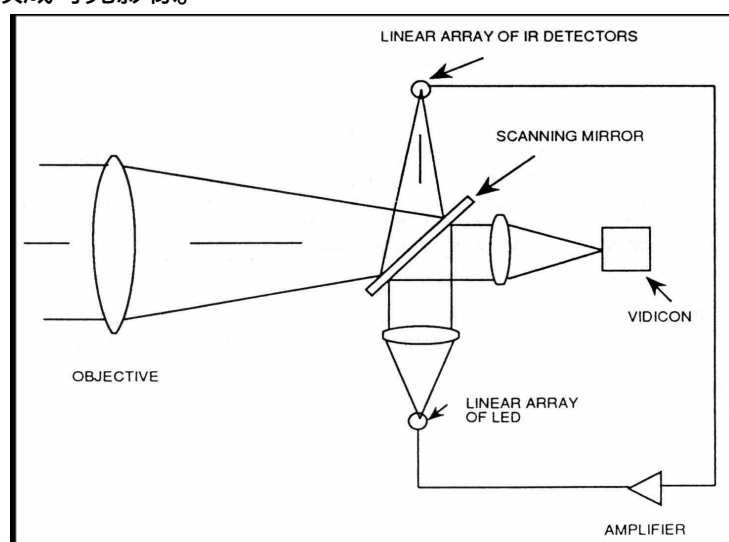


圖17-1 FLIR系統

圖17-2a為一個典型的FLIR物鏡的概圖。前四個透鏡組成一個放大率9.41的無聚焦望遠鏡。資料給在表17-3。

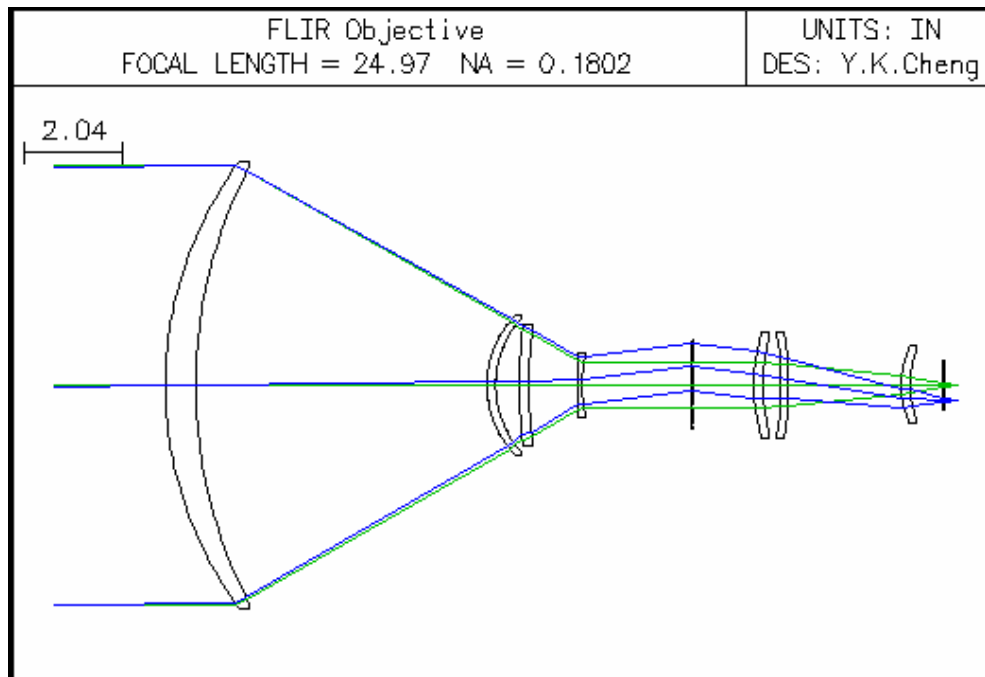
第一鏡面到像距為16.307。等效焦距為25.057。

要使前端透鏡的直徑保持最小，入射光瞳必須與這個前端元件相接觸。這個系統被設計成使用160個檢測器，中心0.004吋的陣列。因，在紙面上，視疇為1.47°。

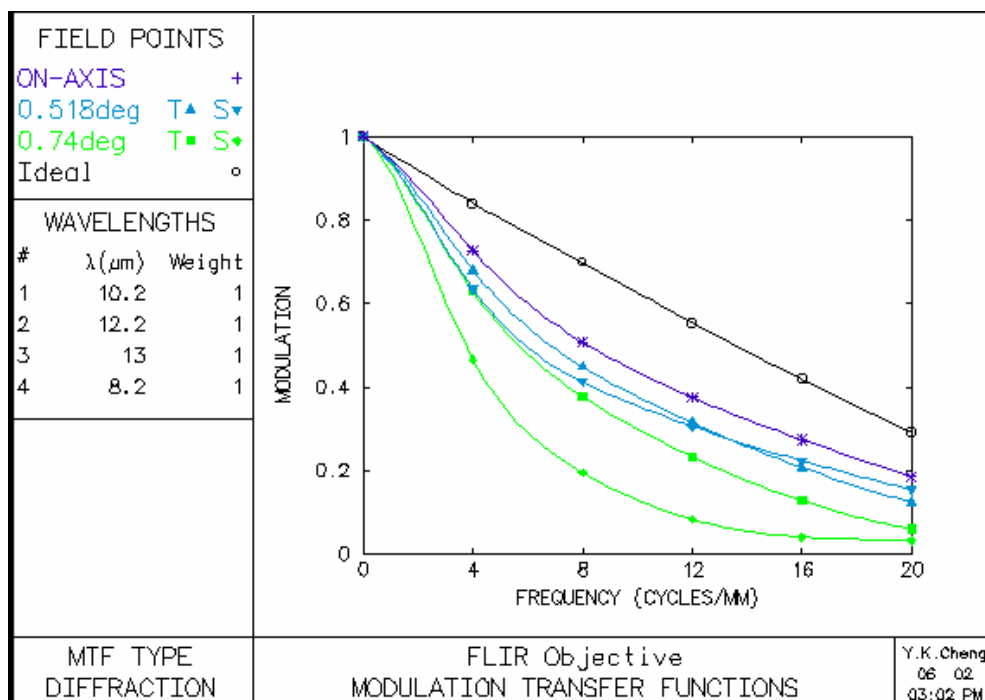
傳統電視顯示器的垂直對水平外觀比為43。物鏡的水平視角因此為1.96°。既然透鏡的等效焦距長到掃描鏡右方為2.66，掃描鏡共移動9.276°。系統最後二個面代表一個用來保護Cooled檢測器陣列的視窗。

在垂直視角頂端的畸變為0.3%。

在一些應用上，第二，第三及第四透鏡被架置成一個群組。這個群組可以被移開，然入置入另一群組以提供寬的視角。操作者可以在寬FOV模式下搜尋，然後當目標位置確定後，切換到窄FOV。



(a)



(b)

圖17-2 (a) FLIR透鏡(b) 系統MTF

SRF	RADIUS	THICKNESS	APERTURE RADIUS	GLASS
OBJ	0.000000	1.0000e+20	1.2916e+18	AIR
AST	7.686500	0.623000	4.590000 A	GERMANIUM
2	9.773900	5.997000	4.500000	AIR
3	2.069200	0.175000	1.425000	GERMANIUM
4	2.043000	0.499000	1.350000	AIR
5	12.770000	0.175000	1.250000	ZNSE C
6	6.930600	1.008000	1.150000	AIR
7	-46.969000	0.100000	0.650000	GERMANIUM
8	2.990400	2.235000	0.600000	AIR
9	0.000000	1.291000	0.900000	REFL_HATCH
10	3.396500	0.200000	1.080000	GERMANIUM
11	4.384500	0.367000	1.025000	AIR
12	-6.214000	0.150000	1.025000	ZNSE C
13	-7.132300	2.319000	1.080000	AIR
14	1.782000	0.192000	0.800000	GERMANIUM
15	2.144700	0.674000	0.750000	AIR
16	0.000000	0.040000	0.500000	GERMANIUM
17	0.000000	0.262000	0.500000	AIR
IMS	0.000000	0.000000	0.326583 S	

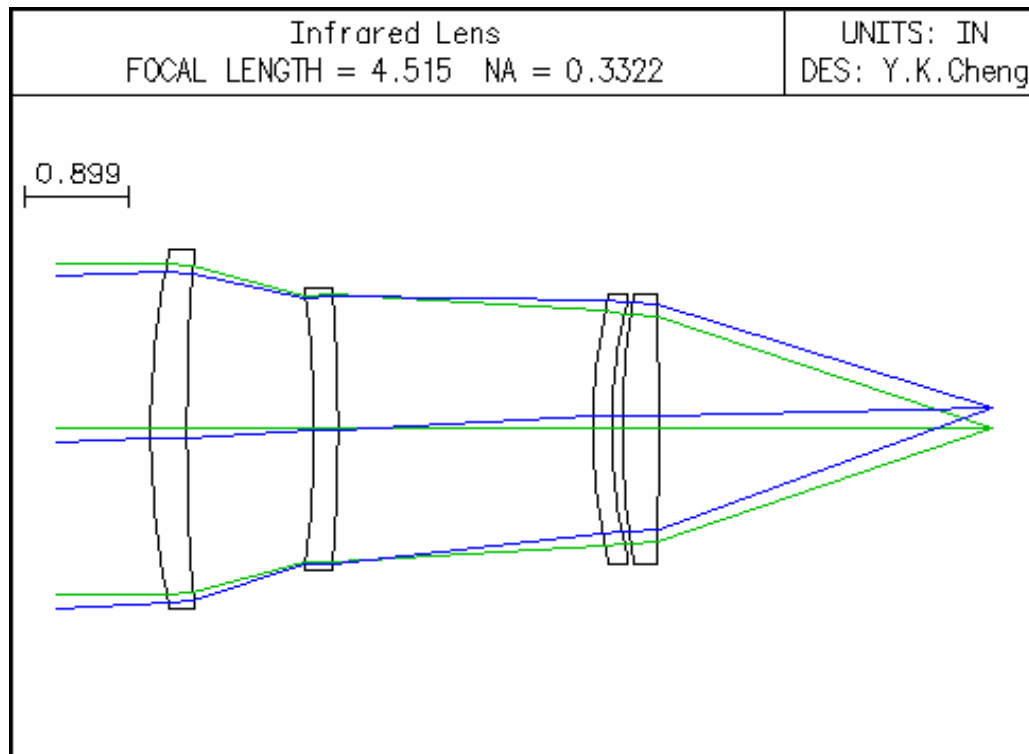
表17-3 FLIR物鏡

圖17-3顯示一個使用在3.2~4.2mm光譜範圍的IR透鏡。其為5.1f且覆蓋了5°的視角。EFL為4.5。資料給在表17-4。

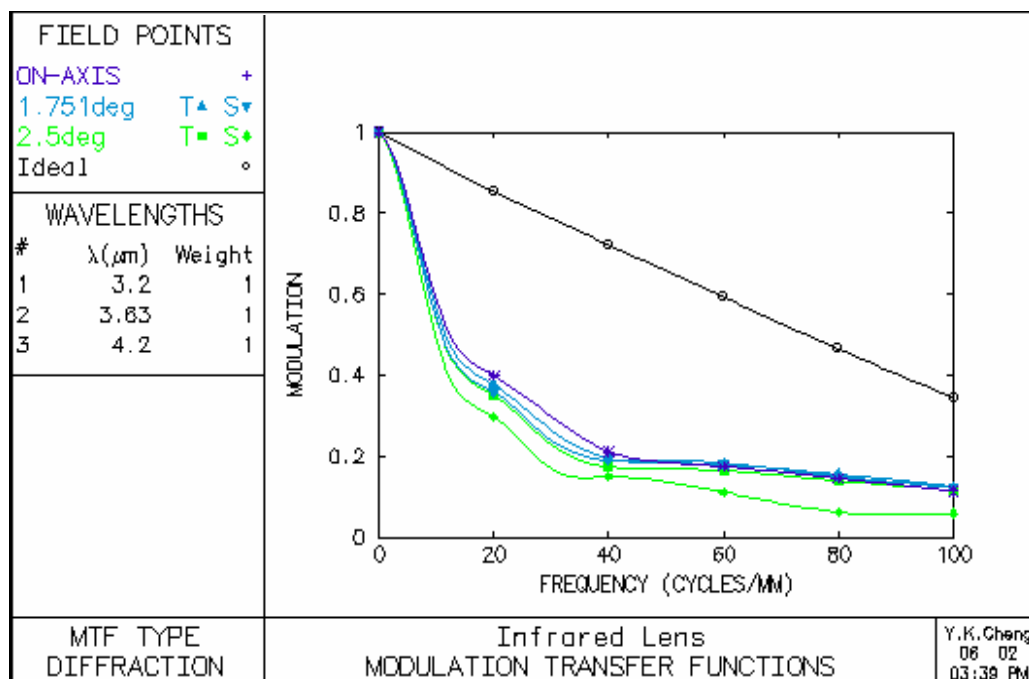
SRF	RADIUS	THICKNESS	APERTURE RADIUS	GLASS
OBJ	0.000000	1.0000e+20	4.3661e+18	AIR
1	8.390100	0.312000	1.630000	SILICON C
2	21.334900	1.101000	1.580000	AIR
3	-8.787000	0.205000	1.235000	GERMANIUM
4	-16.804600	0.176000	1.270000	AIR
AST	0.000000	2.033000	1.195000 A	AIR
6	5.955300	0.158000	1.215000	GERMANIUM P
7	4.761700	0.093000	1.150000	AIR
8	7.679900	0.320000	1.215000	SILICON C
9	-40.287500	2.878458 S	1.215000	AIR
IMS	0.000000	0.000000	0.197119 S	

表17-4 紅外透鏡

畸變少於0.1%。第一鏡面到像距為7.258。使用在3.2~4.2mm範圍的檢測器通常由一個藍寶石窗所防護。這不包含在上述設計中。



(a)



(b)

圖17-3 (a) 紅外透鏡(b) 系統MTF

參考文獻

- Fjelsted, T. P. (1983). Four element infrared objective lens, U.S. Patent 4380363.
- Hudson, R. (1969). Infrared System Engineering, Wiley, New York.
- Infrared Military Systems. (1971). Engineering Design Handbook, AD 885227, available from NTIS, Springfield, VA.
- IRIA. (1959). Optical Materials for Infrared Instrumentation, University of Michigan Report 2389; also 1961 supplement, Infrared Information and Analysis Center, Ann Arbor, MI.
- Jamieson, T. H. (1976). Aplanatic anastigmatic two and three element objectives, Appl. Opt., 15:2276.
- Kirkpatrick, A. D. (1969). Far infrared lens, U.S. Patent 3439969.
- Lloyd, J. M. (1975). Thermal Imaging Systems, Plenum, New York.
- Neil, I. A. (1985). Infrared objective lens system, U.S. Patent 4505535.
- Norrie, D. G. (1986). Catadioptric afocal telescopes for scanning infrared systems, Opt. Eng., 25:319.
- Riedl, M. (1974). The single thin lens as an objective for IR imaging systems, Electro-Opt. Sys. p. 58.
- Rogers, P. J. (1977). Infra-red lenses, U.S. Patent 4030805.
- Sijgers, H. J. (1967). Four element infrared objective, U.S. Patent 3321264.
- Wolf, W., and Zissis, G. (1985). The Infrared Handbook, Research Institute of Michigan, Ann Arbor, MI.