DEUTSCHE DEMOKRATISCHE REPUBLIK
AMT FÜR ERFINDUNGS- UND PATENTWESEN

PATENTSCHRIFT 150 119

Ausschließungspatent
Erteilt gemäß § 5 Absatz 1 des Änderungsgesetzes zum Patentgesetz

In der vom Anmelder eingereichten Fassung veröffentlicht

				Int. Cl.³
(11)	150 119	(44)	12.08.81	(51) G 02 B 5/23
(21)	AP G 02 B / 220 284	(22)	08.04.80	
(31)	028 368	(32)	09.04.79	(33) US

(71) siehe (73)

(72) Knop, Karl H., CH

(73) RCA Corporation, New York, US

(74) Patentanwaltsbüro Berlin, 1130 Berlin, Frankfurter Allee 286

(54) Auf dem Prinzip der Beugung arbeitendes Farbfilter

(57) Zwecks Vereinfachung derartiger Filter ist die Anordnung erfindungsgemäß so getroffen, daß bei der Linsenrasteranordnung (110, 400, 408) eine beugende Struktur (108, 404, 412, 414) angeordnet ist, die ein Phasengitter mit einem vorgegebenen Gitterprofil S (x) und Gitterstrichabstand d, der größer als eine bestimmte Wellenlänge λ des polychromatischen Lichtes ist, enthält, und daß die folgende Beziehung erfüllt ist:

$$F_c^{min} = \frac{d}{\lambda}$$

Hierin ist mit F_c^{min} die Mindestblendenzahl und mit λ die Wellenlänge bezeichnet. – Fig.1 –

24 Seiten

Anwendungsgebiet der Erfindung:

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Farbfilter gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 1. Insbesondere betrifft die Erfindung ein auf dem Prinzip der Beugung arbeitendes Farbfilter für ein polychromatisches Licht abbildendes optisches System, das eine Abbildungsoptik enthält, in deren Bildebene eine photoempfindliche Fläche angeordnet ist oder werden kann.

Charakteristik der bekannten technischen Lösungen:

Farbfilter werden u.a. in der Farbphotographie und in Farbfernsehkameras verwendet. Die üblichen Farbfilter enthalten absorbierende Farbstoffe oder dichroitische Spiegel. In jüngerer Zeit sind ferner Farbfilter entwickelt worden, die auf dem Prinzip der

Beugung arbeiten, siehe z.B. die US-PSen 3 957 354, 4 079 411 und 4 130 347.

Beim Fernseh-Rundfunk werden gewöhnlich verhältnismäßig teure Farbfernsehkameras verwendet, die mindestens drei Bildaufnahmeröhren enthalten. Aus der US-PS 2 733 291 ist jedoch auch schon eine billigere Einröhren-Farbfernsehkamera bekannt. Diese nur eine Bildaufnahmeröhre enthaltende Farbfernsehkamera arbeitet mit einem optischen System, das ein räumliches Filter und ein absorbierende Farbstoffe enthaltendes Farbcodierstreifenfilter enthält, durch das auf eine photoempfindliche Fläche der einzigen Bildaufnahmeröhre ein Bild eines mit polychromatischem (z.B. weißem) Licht beleuchteten Objekts geworfen wird. Das Farbcodierfilter enthält mindestens zwei Sätze von Farbfilterstreifen, die jeweils einer anderen Primärfarbe entsprechen. Die räumliche Anordnung der verschiedenen Farbstreifen bezüglich der Abtastrichtung eines Elektronenstrahls in der Bildaufnahmeröhre ist so gewählt, daß zusätzlich zu einem Leuchtdichtesignal für jede Farbe ein eigener, farbsignalmodulierter Träger erzeugt wird. Durch räumliche Oberwellen und Intermodulationskomponenten der räumlichen Grundfrequenzen des Farbstreifenfilters können unerwünschte Farbschatten, Moirémuster und Farbschwebungen entstehen. Das räumliche Filter im optischen System der Bildaufnahmeröhre arbeitet als Tiefpaßfilter, das diese unerwünschten Effekte des absorbierende Farbstoffe enthaltenden Farbstreifenfilters so weit wie möglich verringert.

Auch bei den moderneren Einröhren-Farbfernsehkameras des oben erwähnten Typs werden zur Farbcodierung noch immer die gleichen Farbstreifenfilter mit

absorbierenden Farbstoffen verwendet. Die Struktur des in Verbindung mit dem zur Farbcodierung dienenden Farbstreifenfilter verwendeten räumlichen Filters wurde jedoch verbessert. Aus der US-PS 3 940 788 ist z.B. ein Raumfilter für eine Einröhren-Farbfernsehkamera bekannt, welches ein Phasengitter und ein Linsenraster enthält, die in Bezug aufeinander und ein konventionelles, absorbierende Farbstoffe enthaltendes Farbcodierstreifenfilter so angeordnet sind, daß die Farbschatten, Moirémuster und Farbschwebungen möglichst klein werden.

Ziel der Erfindung:

Der vorliegenden Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, diese bekannten Systeme zu vereinfachen.

Darlegung des Wesens der Erfindung:

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch ein Farbfilter der eingangs genannten Art mit den kennzeichnenden Merkmalen des Patentanspruchs 1 gelöst.

Durch die vorliegende Erfindung wird es möglich, auf irgendwelche mit absorbierenden Farben arbeitenden Farbfilter sowie auf ein getrenntes Raumfilter im optischen System einer Einröhren-Farbfernsehkamera völlig zu verzichten. Stattdessen wird ein auf dem Prinzip der Beugung arbeitendes Farbfilter geschaffen, das selbst (und nicht das in Verbindung mit dem absorbierende Farben enthaltenden Farbcodierfilter verwendete Raumfilter) im wesentlichen aus einer Linsenrasteranordnung und einem Phasen-Beugungsgitter besteht.

Durch die Erfindung wird insbesondere ein mit Beugung arbeitendes Farbfilter für ein mit polychromatischem Licht arbeitendes Abbildungssystem geschaffen, welches eine Abbildungsoptik mit einer

Bildfläche enthält, in der eine photoempfindliche Fläche angeordnet ist oder angeordnet werden kann. Die Optik hat eine f- oder Blendenzahl F_c, die gleich- oder größer als eine bestimmte Mindest-Blendenzahl F_c^{min} ist. Das Farbfilter selbst enthält eine Linsenrasteranordnung aus einem Material mit dem Brechungsindex n_1. Die Linsenrasteranordnung hat eine Linsenperiodizität L und eine Brennweite f in dem Material mit dem Brechungsindex n_1. Außerdem ist die Linsenrasteranordnung so ausgebildet, daß ihre Brennebene im wesentlichen mit der photoempfindlichen Fläche zusammenfallen kann.

Gemäß der Erfindung enthält das Farbfilter ferner eine beugende Struktur, die im wesentlichen in der Nähe der Linsenrasteranordnung angeordnet ist. Die beugende Struktur besteht aus einem Material mit einem Brechungsindex n_2. Die beugende Struktur enthält außerdem ein Phasengitter mit einem vorgegebenen Gitterprofil S(x) und Gitterstrichabstand d, der größer ist als eine bestimmte Wellenlänge λ des polychromatischen Lichtes. Schließlich soll die folgende Beziehung zwischen oben erwähnten Parametern des mit Beugung arbeitenden Farbfilters und des mit polychromatischem Licht arbeitenden Abbildungssystems, für das das Farbfilter bestimmt ist, erfüllt sein:

$$F_c^{min} \geq \frac{d}{\lambda} \qquad (1)$$

Wenn sich bei dem oben beschriebenen Farbfilter gemäß der Erfindung das Material der Linsenrasteranordnung bis zur Brennebene der Anordnung erstreckt, so daß sich für die Anordnung eine Blendenzahl $f_c = f/n_1 L$ ergibt, dann gilt folgende Gleichung:

$$F_L = \frac{d}{K\lambda} \qquad (2)$$

wobei K eine ganze Zahl größer als eins ist.

Ausführungsbeispiel:

Im folgenden werden Ausführungsbeispiele der Erfindung unter Bezugnahme auf die Zeichnung näher erläutert.

Es zeigen:

Figur 1 eine schematische Darstellung einer Ausführungsform des mit Beugung arbeitenden Farbfilters gemäß der Erfindung;

Figur 2 ein rechteckwellenförmiges Transmissions-Phasengitter mit dem Aspektverhältnis 1/2;

Figur 3 ein rechteckwellenförmiges Transmissions-Phasengitter mit einem Aspektverhältnis, das kleiner als 1/2 ist, und

Figur 4a und 4b Ausführungsformen eines zweidimensionalen, mit Beugung arbeitenden Farbfilters gemäß der Erfindung.

In Fig. 1 ist ein Abbildungssystem schematisch dargestellt, das als Abbildungsoptik ein als Einzellinse schematisch dargestelltes Objektiv 100 enthält, dessen effektive Öffnung durch eine Blende 102 definiert ist. Das Objektiv 100 bildet ein Bündel polychromatischen, z.B. weißen Lichts 104 von einem nicht dargestellten beleuchteten Objekt auf eine photoempfindliche Oberfläche 106 ab, die in einer Bildebene des Objektivs 100 angeordnet ist. Die photoempfindliche Fläche 106 kann beispielsweise durch ein photochemisches Material, wie eine photographische Emulsion oder einen Photolack gebildet werden, oder durch eine photoelektrische Anordnung, wie die Photo-

kathode eines Vidicons, oder durch eine Anordnung, die eine Photospannung erzeugt, oder durch ein photoleitfähiges Material. Auf alle Fälle entspricht die Ansprache der verschiedenen Elementarbereiche der photoempfindlichen Fläche 106 der Intensität des auf den betreffenden Elementarbereich fallenden Lichtes. Im Strahlengang vor der lichtempfindlichen Fläche 106 ist ferner ein mit Beugung arbeitendes Farbfilter gemäß einer Ausführungsform der Erfindung angeordnet, welches ein Beugungsgitter 108 sowie eine Linsenrasteranordnung 110 enthält.Die Linsenrasteranordnung 110 kann aus einem transparenten Kunststoff mit einem Brechungsindex n_1 bestehen, dessen obere Fläche einen z.B. durch Heißpressen hergestelltes Linsenraster aus einer Vielzahl von Linsen 112 bildet. Die Periodizität der Linsen 112 der Linsenrasteranordnung 110 ist L und die Linsenrasteranordnung 110 hat eine Dicke f gleich der Brennweite der einzelnen Linsen 112.

Die untere Oberfläche der Linsenrasteranordnung 110 fällt im wesentlichen mit der photoempfindlichen Fläche 106 zusammen. Die photoempfindliche Fläche 106 fällt also mit der Brennebene der Linsenrasteranordnung 110 zusammen. Das Beugungsgitter 108 ist ein Phasengitter, das aus einer transparenten Kunststoff-Folie mit einem Brechungsindex n_2 bestehen kann, in dessen untere Seite ein Oberflächenreliefmuster eingepreßt ist. Die Brechungsindizes n_1 und n_2 können gleich oder verschieden sein. Das Beugungsgitter 108 hat einen Strichabstand d, welcher relativ groß im Vergleich zu einer Wellenlänge λ im Wellenlängenbereich des polychromatischen Lichtes, jedoch verhältnismäßig klein bezüglich der Linsenperiode L der Linsenrasteranordnung 110 ist. Die

Perioden des Beugungsgitters 108 haben alle das gleiche vorgegebene Profil S_x.

Von der in Fig. 1 dargestellten optischen Anordnung kann in mehrfacher Hinsicht abgewichen werden, solange das Prinzip gewahrt bleibt. Man kann z.B. vorziehen, eine Linsenrasteranordnung zu verwenden, deren Dicke kleiner ist als ihre Brennweite. Auch in diesem Falle soll die Brennebene der Linsenrasteranordnung mit der Bildebene und der photoempfindlichen Fläche zusammenfassen. Die obigen Gleichungen müssen dann abgewandelt werden, um der Tatsache Rechnung zu tragen, daß nur ein Teil des Strahlenganges für die verschiedenen Beugungsordnungen (z.B. 114, 116 und 118) in einem Medium mit dem Brechungsindex n_1 verläuft während der Rest des Strahlenganges in Luft verläuft, deren Brechungsindex im wesentlichen gleich Eins ist. Man kann auch die Position der Linsenrasteranordnung und des Beugungsgitters miteinander vertauschen oder beide in ein und derselben Oberfläche bilden.

Die Wirkung des Beugungsgitters 108 auf das Lichtbündel 104, das nach Durchlaufen des Objektivs 100 auf das Beugungsgitter 108 fällt, besteht darin, daß das in die einzelnen Linsen 112 der Linsenrasteranordnung 110 fallende Licht in ein gebeugtes Bündel nullter Ordnung, wie das Bündel 114, und Bündel höherer Ordnungen, wie ein Bündel 116 der positiven ersten Ordnung und ein Bündel 118 der negativen ersten Ordnung gebeugt wird. In Fig. 1 ist die Breite der Bündel der verschiedenen Beugungsordnungen, wie des Bündels 114 nullter Ordnung, die auf die photoempfindliche Fläche 106 fallen, gleich W. Der Abstand zwischen den Mitten der Bündel zweier benachbarter Beugungsordnungen, wie der Abstand zwischen den Bündeln 116 bzw. 118 der ersten Ordnung und dem Bündel 114 der nullten Ordnung ist auf der photoempfind-

lichen Fläche 106 gleich g. Wenn sich die jeweiligen Bündel nullter Ordnung nicht mit den Bündel der höheren Ordnungen überlappen sollen, muß $W \leq g$ sein.

Wenn die f- oder Blendenzahl des abbildenden Objektivs 100 gleich F_c ist, gilt die folgende Gleichung:

$$W = \frac{f}{F_c n_1} \qquad (3)$$

Anhand der Theorie der Beugung läßt sich ferner zeigen, daß

$$g = \frac{f \cdot \lambda}{d n_1} \qquad (4)$$

Durch Vereinigung der Gleichungen (3) und (4) ergibt sich, daß $W \leq g$ solange als $F_c \geq F_c^{min}$ ist, also $F_c^{min} \geq \frac{d}{\lambda}$, wie oben in Gleichung (1) angegeben ist.

Das durch jede einzelne Linse 112 der Linsenrasteranordnung 110 erzeugte Beugungsmuster wiederholt sich im Abstand L, so daß sich die verschiedenen Beugungsordnungen von verschiedenen Linsen 112 überlagern. Genauer gesagt wird die K-te Beugungsordnung (wobei K irgendeine spezielle ganze Zahl größer als Eins ist) der verschiedenen Elementarlinsen 112 auf die nullte Ordnung der Beugungsfigur der benachbarten Elementarlinse fallen. Quantitativ gilt:

$$Kg = L \qquad (5)$$

Die f- oder Blendenzahl F_L der Linsenrasteranordnung 110 ist jedoch (unter der Annahme, daß die untere Begrenzung der Linsenrasteranordnung in ihrer Brennebene liegt, wie es in Fig. 1 dargestellt ist) wie folgt definiert:

$$F_L = \frac{f}{n_1 L} \qquad (6)$$

Setzt man die Gleichungen (4) und (5) in die Gleichung (6) ein, so ergibt sich die oben bereits angeführte Gleichung (2), nämlich

$$F_L = \frac{d}{K\lambda} \qquad (2)$$

Auch wenn die Linsenrasteranordnung mit ihrer unteren Begrenzung nicht ganz bis zu ihrer Brennebene reicht, ist die effektive Blendenzahl F_L immer noch proportional zu f/L, die Proportionalitätskonstante ist jedoch dann etwas komplexer als $1/n_1$. Die effektive Proportionalitätskonstante müßte in diesem Falle unter Berücksichtigung des Brechungsgesetzes und der Tatsache berechnet werden, daß ein Teil der Strahlengänge der in die verschiedenen Ordnungen gebeugten Bündel (z.B. 114, 116 und 118) in einem Medium mit dem Brechungsindex n_1 verläuft während der Rest der Strahlengänge in einem Medium mit einem anderen Brechungsindex, z.B. Eins im Falle von Luft, verläuft.

Eine aus Zylinderlinsen bestehende Linsenrasteranordnung 110 erzeugt in ihrer Brennebene auf der photoempfindlichen Fläche 106 ein Farbmuster, das aus verschiedenen nebeneinanderliegenden Farbstreifen besteht. Im allgemeinen sind die Streifen in sich wiederholende Gruppen von Streifen unterteilt, von denen jede Gruppe K verschiedene Farbstreifen enthält. In dem speziellen Falle, daß das Beugungsgitterprofil symmetrisch ist (d.h. S(x) = S(-x)), besteht jedoch jede der sich wiederholenden Gruppen von Streifen nur aus (1+ einem ganzzahligen Teil von K/2) verschiedenen Farbstreifen.

Die Farbe der verschiedenen Streifen wird durch die optische Transmittanz der verschiedenen Beugungsordnungen des Beugungsgitters 108 bestimmt. Diese optische Transmittanz hängt von dem jeweiligen Profil S(x) und dem Beugungsindex n_2 des betreffenden Beugungsgitters 108 ab. Für grobe Gitter (bei denen d wesentlich größer

als λ ist) kann die vereinfachte Beugungstheorie unter Verwendung der Kirchhoff-Huygens-Näherung verwendet werden, um den Beugungswirkungsgrad des Gitters als Funktion der Lichtwellenlänge für jede der verschiedenen einander überlagerten Beugungsordnungen, die zu einem Farbstreifen beitragen, bestimmt werden. Durch Summierung der jeweiligen Beugungswirkungsgrade der einen bestimmten Farbstreifen bildenden überlagerten Beugungsordnungen kann dann der Farbton jedes der K Farbstreifen berechnet werden. Es soll in diesem Zusammenhang bemerkt werden, daß die Farbe an den Rändern der einzelnen Farbstreifen sich infolge der Winkeldispersion bei allen mit Ausnahme der nullten Ordnung etwas ändert. Was errechnet wird, ist jedoch die mittlere Farbe über die Breite W jedes einzelnen Farbstreifens. Wie der Beugungswirkungsgrad als Funktion der Lichtwellenlänge für die verschiedenen Beugungsordnungen eines Beugungsgitters unter Verwendung der vereinfachten Kirchhoff'schen Beugungsgleichungen errechnet werden kann, ist in der US-PS 3 957 354 beschrieben, so daß hier auf weitere Erläuterungen verzichtet werden kann.

Jede Gitterstrichperiode des Beugungsgitters 108 kann irgendeine Profilform haben, die durch eine entsprechende Funktion S_x beschrieben wird. Wie aus der US-PS 3 957 354 bekannt ist, gibt es jedoch eine Klasse von Profilen, die sich für die Erzeugung von guten Farben besonders eignet. Diese Profile sind alle Stufenfunktionsprofile mit vertikalen Wänden oder Flanken und ebenen Basisflächen, die alle den gleichen Winkel mit dem einfallenden Licht bilden. Ein spezielles, vorteilhaftes Beispiel ist das in Fig. 2 dargestellte Rechteckwellenprofil, auf das unten noch näher eingegangen werden wird. Die andere Profile, die zwar keine so guten Farben liefern, aber für den vorliegenden Zweck ebenfalls verwendet werden können, wie Sinuswellen-

profile, sind alle kontinuierliche oder stetige Profile.

Fig. 2 zeigt eine erste bevorzugte Ausführungsform 108a für das Beugungsgitter 108 des in Fig. 1 dargestellten Farbfilters. Das Beugungsgitter 108a ist ein grobes (Strichabstand d größer oder gleich 5 µm), rechteckwellenförmiges Phasengitter aus einem Material mit einem Brechungsindex n_2, der größer ist als der seiner Umgebung (die normalerweise aus Luft mit dem Brechungsindex Eins besteht). Das Rechteckwellenprofil wird durch gleichmäßig beabstandete Vorsprünge 200 gebildet, die jeweils eine Breite v und eine Tiefe a' haben. Das Aspektverhältnis b = v/d des Rechteckwellenprofilgitters 108a ist 1/2. Das Profil S_x des Rechteckwellenprofilgitters 108a ist daher durch die folgenden Gleichungen (7) definiert:

$$S(x) = \begin{cases} +\frac{a'}{2} & \text{für } \cos(2\pi x/d) < 0 \\ -\frac{a'}{2} & \text{für } \cos(2\pi x/d) > 0 \end{cases} \qquad (7)$$

Da das Rechteckwellenprofilgitter 108a ein grobes Gitter ($d \geq 5$ µm) ist, können die Kirchhoff'schen Gleichungen für die vereinfachte Beugungstheorie angewendet werden, um die verschiedenen Beugungswirkungsgrade für die nullte Beugungsordnung und eine oder mehrere höhere Beugungsordnungen zu bestimmen. Es sei angenommen, daß die ganze Zahl K, die größer als Eins ist, den Wert 2 hat, so daß jede der sich wiederholenden Gruppen zwei verschiedene Farbstreifen enthält, und man kann dann zeigen, daß die jeweiligen optischen Transmittanzen $t_1(\lambda)$ und $t_2(\lambda)$ für diese beiden verschiedenen Farben durch die folgenden Gleichungen gegeben sind:

$$t_1(\lambda) = \sin^2 (\pi(n_2-1)\ a'/\lambda) \qquad (8)$$

$$t_2(\lambda) = \cos^2 (\pi(n_2-1)\ a'/\lambda) \qquad (9)$$

$t_1(\lambda)$ und $t_2(\lambda)$ stellen für Werte von $a'\ (n_2-1)$ im Bereich von 500-1700 nm helle und gesättigte Komplementärfarben dar.

Bezüglich feinstrichigen Farbfiltern, die auf dem Prinzip der Beugung arbeiten, also Beugungsfarbfiltern mit Strichabständen d zwischen 0,7 und 2,0 µm sei auf die US-PS 4 130 347 verwiesen. Dort ist dargelegt, daß man die strengere Beugungstheorie (die berücksichtigt, daß das Licht eine elektromagnetische Welle ist, die durch die Maxwell-Gleichungen beschrieben wird) anwenden muß, um die Werte der Tiefe a' und des Aspektverhältnisses b eines Rechteckwellenprofils zu bestimmen, wenn man mit einem feinstrichigen Beugungsfilter gute Farben erhalten will. Wenn also, wie es in Fig. 3 dargestellt ist, ein Beugungsgitter 108b verwendet werden soll, dessen Strichabstand d zwischen 0,7 und 2,0 µm liegt, wird die Breite v jedes Vorsprunges 300 wesentlich kleiner als die Hälfte des Strichabstandes d gewählt. Das Aspektverhältnis b des Gitters 108b ist also wesentlich kleiner als 0,5. Wie in der erwähnten US-PS 4 130 347 gezeigt ist, besteht jedoch immer noch eine starke Wellenlängenabhängigkeit des Beugungswirkungsgrades der verschiedenen Ordnungen und man kann daher auch mit feingeteilten Beugungsgittern, die ein rechteckiges Rillenprofil haben, wie dem natürlich stark vergrößert dargestellten Beugungsgitter 108b, immer noch gute Farben erzeugen.

In der Praxis enthält ein typisches Kamera- und/oder Projektionssystem eine Abbildungsoptik mit einer

f- oder Blendenzahl F_c gleich drei oder weniger. Wenn der Wert von λ mit ungefähr 0,5 µm angenommen wird, ergibt sich aus der obigen Gleichung (1) die Bedingung, daß $d \leq 1{,}5$ µm sein soll. Der Wert von L wird gewöhnlich so gewählt, daß das gewünschte Auflösungsvermögen gewährleistet ist. Die übrigen Parameter können aus der Gleichung (2) ermittelt werden, aus der sich für einen Wert K = 2 eine Blendenzahl F_L der Linsenrasterlinsen von 1,5 und eine Brennweite f für diese Linsen von etwa 2,3 L (für einen typischen Wert $n_1 = 1{,}5$) ergibt.

Es wurden verschiedene auf dem Prinzip der Beugung arbeitende Streifenfarbfilter gemäß den Lehren der vorliegenden Erfindung hergestellt. Gute Resultate ergaben sich bei Verwendung von Beugungsgittern mit einem Strichabstand d von 1,4 µm und einem Linsenraster mit einer Periodizität L im Bereich von 30-50 µm. Sowohl die Gitter als auch die Linsenraster wurden durch Prägen oder Pressen der Oberfläche einer Kunststoff-Folie aus Polyvinylchlorid (PVC) hergestellt, so daß $n_1 = n_2 = 1{,}54$ ist. Die beugenden Streifenfarbfilter gemäß der Erfindung lassen sich dementsprechend mit wesentlich geringeren Kosten herstellen als die konventionellen Farbstreifenfilter, die absorbierende Farbstoffe enthalten.

Es sind Farbfernsehkameras für den Heimgebrauch entwickelt worden, die mit einem Farbcodierstreifenfilter arbeiten und eine einzige photoempfindliche Fläche einer ladungsgekoppelten CCD-Halbleitereinrichtung für die Bildaufnahme anstelle einer konventionellen Einstrahl-Vidiconröhre enthalten. Bei einer solchen CCD-Farbfernsehkamera besteht neben anderen Vorteilen die Möglichkeit, daß sie mit sehr geringen Kosten hergestellt werden kann, was besonders

für Farbfernsehkameras zum Privatgebrauch sehr wesentlich ist. Wegen der geringen Kosten ist das Farbfilter gemäß der Erfindung für solche Heim-Farbfernsehkameras, wie CCD-Farbfernsehkameras von besonderer Bedeutung.

Die bisher in Verbindung mit den Fig. 1, 2 und 3 beschriebenen beugenden Farbfilter sind quasi-eindimensional, d.h. sie enthalten ein einziges Beugungsgitter mit strichförmigen beugenden Elementen und ein Linsenraster mit Zylinderlinsen. Die vorliegende Erfindung ist jedoch auch auf zweidimensionale beugende Farbfilter anwendbar, welche zwei verschiedene, winkelmäßig versetzte Beugungsgitter und eine zweidimensionale Linsenrasteranordnung mit sphärischen Linsen enthalten. In den Fig. 4a und 4b sind schematisch die räumlichen Anordnungen zweier Ausführungsformen von zweidimensionalen beugenden Farbfiltern, die gemäß dem Prinzipien der vorliegenden Erfindung aufgebaut sind, dargestellt.

Das in Fig. 4a schematisch dargestellte Farbfilter enthält eine Linsenrasteranordnung mit sphärischen Linsen, die räumlich in Zeilen und Spalten mit einer Zeilenperiodizität L und einer Spaltenperiodizität L angeordnet sind. Genauer gesagt liegt jede einzelne sphärische Linse der Linsenrasteranordnung 400 in einem eigenen quadratischen Bereich, wie dem quadratischen Bereich 402, dessen beide Seiten die Länge L haben. Die zweidimensionale Linsenrasteranordnung 400 arbeitet mit einer beugenden Struktur zusammen, welche zwei einander überlagerte Beugungsgitter 404 und 406 enthält, die beide den gleichen Strichabstand d haben. Wie Fig. 4a zeigt, sind die Striche des Beugungsgitters 404 parallel zu den Zeilen der Linsenrasteranordnung 400 orientiert, während die Striche des Beugungsgitters 406 parallel zu den Spalten der zweidimensionalen Linsenrasteranordnung 400 verlaufen. Die beiden Beugungsgitter 404 und

406 sind also winkelmäßig um 90° in Bezug aufeinander versetzt.

Mit den Buchstaben A, B, C und D ist in Fig. 4a die räumliche Anordnung der verschiedenfarbigen Flecke dargestellt, die in der Brennebene der zweidimensionalen Linsenrasteranordnung 400 entstehen. A repräsentiert die Farbe, die an den betreffenden Stellen durch das gebeugte Bündel nullter Ordnung der beiden Gitter erzeugt wird, während B und C die Farben bedeuten, die an den entsprechenden Stellen durch die jeweiligen ersten Ordnungen jedes einzelnen der beiden Gitter erzeugt werden, während D die Farbe bedeutet, die an den betreffenden Stellen durch eine Mischung der Bündel erster Ordnung von zwei benachbarten Linsen erzeugt werden.

Fig. 4b zeigt eine andere räumliche Anordnung für ein zweidimensionales beugendes Farbfilter. Dieses enthält eine wabenartige Linsenrasteranordnung 408, bei der jede sphärische Linse in einem eigenen sechseckigen Bereich angeordnet ist, wie dem Bereich 410. Die Seitenlänge der hexagonalen Bereiche ist L, so daß die zweidimensionale Linsenrasteranordnung 408 die Periodizität L hat. Die beugende Struktur der Ausführungsform gemäß Fig. 4b enthält zwei einander überlagerte, gegeneinander verdrehte Beugungsgitter 412 und 414. Wie aus Fig. 4b ersichtlich ist, verlaufen die Striche des Beugungsgitters 410 parallel zu einem Satz Seiten und die Linien des Beugungsgitters 414 parallel zu einem anderen Satz Seiten der hexagonalen Bereiche, wie des Bereiches 410 der zweidimensionalen Linsenrasteranordnung 408. Die Striche des Beugungsgitters 412 sind also um 120° bezüglich der Striche des Beugungsgitters 414 verdreht. In Fig. 4b sind ferner die jeweiligen räumlichen Posi-

tionen der Farbflecke A, B, C und D dargestellt; die Bedeutung dieser Buchstaben war oben in Verbindung mit Fig. 4a erläutert worden.

Zur Vereinfachung der Beschreibung der in den Fig. 4a und 4b dargestellten zweidimensionalen beugenden Farbfilter war angenommen worden, daß K = 2 und daß d und L für alle Richtungen gleich seien. Selbstverständlich läßt sich die vorliegende Erfindung auch auf weniger symmetrische zweidimensionale Strukturen anwenden, bei denen d, L und K anders gewählt sind.

Die mit Beugung arbeitenden Farbfilter gemäß der Erfindung haben unter anderen die folgenden Vorteile: 1.) Sie lassen sich durch Gießen oder Pressen mit geringen Kosten in Massenproduktion herstellen; 2.) sie sind sehr stabil und bleichen beim Gebrauch oder mit der Zeit nicht aus; 3.) sie nützen das Licht praktisch 100%ig aus, da nichts von dem einfallenden Licht absorbiert oder reflektiert wird; 4.) sie lassen sich mit den verschiedensten Werkstoffen herstellen und 5.) sie ermöglichen die Erzeugung der verschiedensten Farbmuster. Ein Vorteil der Farbfilter gemäß der Erfindung, auf den besonders hingewiesen werden soll, besteht ferner darin, daß sie gut mit einer Abbildungsoptik arbeiten, die eine verhältnismäßig kleine Blendenzahl F_c haben. Eine Optik mit kleiner Blendenzahl F_c hat eine entsprechend hohe Lichtstärke. Es sei in diesem Zusammenhang auf die bereits erwähnte US-PS 4 079 411 verwiesen, in der ein Phasen-Beugungsfilter beschrieben ist, dessen Nahfeld-Fokussierungseigenschaften wellenlängenabhängig sind, so daß es ebenfalls als Beugungsfarbfilter arbeitet. Bei diesem beugenden Farbfilter muß jedoch das einfallende polychromatische Lichtbündel kollimiert sein, d.h. die Blendenzahl der Abbildungsoptik muß mindestens

fünfzehn betragen. Diese Blendenzahl ist etwa 5-10 mal größer (entsprechend einer Verringerung der Beleuchtungsstärke um den Faktor 25-100) als es bei dem Beugungsfarbfilter gemäß der Erfindung erforderlich ist.

Erfindungsanspruch:

1. Auf dem Prinzip der Beugung arbeitendes Farbfilter für ein mit polychromatischem Licht arbeitendes Abbildungssystem, das außer dem Farbfilter ein abbildendes Objektiv mit einer Bildebene und einer vorgegebenen Blendenzahl F_c, die gleich oder größer als eine Mindestblendenzahl F_c^{min} ist, und eine in der Bildebene angeordnete photoempfindliche Fläche enthält, mit einer Linsenrasteranordnung, die eine

Linsenperiodizität L und eine Brennweite f sowie eine effektive Blendenzahl F_L proportional zu f/L hat und so angeordnet ist, daß ihre Brennebene im wesentlichen mit der photoempfindlichen Fläche zusammenfällt, dadurch gekennzeichnet, daß bei der Linsenrasteranordnung (110, 400, 408) eine beugende Struktur (108; 404, 406; 412, 414) angeordnet ist, die ein Phasengitter mit einem vorgegebenen Gitterprofil S (x) und Gitterstrichabstand d, der größer als eine bestimmte Wellenlänge λ des polychromatischen Lichtes ist, enthält, und daß die folgende Beziehung erfüllt ist:

$$F_c^{\min} \geq \frac{d}{\lambda} .$$

2. Farbfilter nach Punkt 1, dadurchgekennzeichnet, daß die Linsenrasteranordnung (110) aus einem Material mit einem vorgegebenen ersten Brechungsindex n_1 besteht und bis zu ihrer Brennebene reicht, so daß ihre Blendenzahl F_L gleich f/n_1L ist;
daß die beugende Struktur (108) aus einem Material besteht, welches einen vorgegebenen zweiten Brechungsindex n_2 hat und daß die folgende Beziehung erfüllt ist:

$$F_L = \frac{d}{K\lambda} .$$

3. Farbfilter nach Punkt 2, dadurch gekennzeichnet, daß das Gitterprofil S(x) ein bestimmtes Rechteckwellenprofil mit einer vorgegebenen Tiefe a' und einem vorgegebenen Aspektverhältnis b ist.

Farbfilter nach Punkt 3, dadurch gekennzeichnet, daß der Strichabstand d mindestens fünf Mikrometer ist und daß das Aspektverhältnis im wesentlichen gleich einhalb ist,

so daß das Gitterprofil S(x) symmetrisch oder quadratisch ist.

5. Farbfilter nach Punkt 3, dadurch gekennzeichnet, daß der Strichabstand d wesentlich kleiner als fünf Mikrometer ist und daß das Aspektverhältnis b wesentlich kleiner als einhalb ist.

6. Farbfilter nach Punkt 5, dadurch gekennzeichnet, daß das Aspektverhältnis einen solchen Wert hat, daß in der Brennebene der Linsenrasteranordnung (110) im wesentlichen gesättigte Farbtöne entstehen.

7. Farbfilter nach Punkt 3, dadurch gekennzeichnet, daß d nicht größer als 1,5 Mikrometer ist, daß λ etwa 0,5 Mikrometer beträgt, daß K gleich zwei ist und daß n_1 etwa 1,5 beträgt.

8. Farbfilter nach Punkt 3, dadurch gekennzeichnet, daß d im wesentlichen 1,4 Mikrometer ist, daß L im Bereich von 30 bis 50 Mikrometer liegt, daß K gleich zwei ist, daß n_1 und n_2 beide gleich 1,54 sind und daß das polychromatische Licht weißes Licht ist.

9. Farbfilter nach einem der vorhergehenden Punkte, dadurch gekennzeichnet, daß die Linsenrasteranordnung eine lineare Anordnung aus Zylinderlinsen ist und daß die beugende Struktur ein einziges Strichgitter enthält, dessen Gitterstriche im wesentlichen parallel zu den Achsen der Zylinderlinsen verlaufen, so daß das Farbfilter ein Farbstreifenfilter ist.

10. Farbfilter nach einem der Punkte 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß die Linsenrasteranordnung eine zweidimensionale Anordnung (400,408) ist und daß die beugende Struktur zwei winkelmäßig gegeneinander versetzte Phasengitter (404,406; 412,414) enthält.

11. Farbfilter nach Punkt 10, dadurch gekennzeichnet, daß die zweidimensionale Linsenrasteranordnung eine rechtwinklige Anordnung (400) ist und daß die Phasengitter (404,406) im wesentlichen um 90 Grad in Bezug aufeinander verdreht sind.

12. Farbfilter nach Punkt 10, dadurch gekennzeichnet, daß die zweidimensionale Linsenrasteranordnung eine hexagonale Anordnung (408) ist und daß die beiden Phasengitter (412,414) im wesentlichen um 120 Grad in Bezug aufeinander verdreht sind.

13. Farbfilter nach einem der vorhergehenden Punkte, dadurch gekennzeichnet, daß die Linsenrasteranordnung und die beugende Struktur aus geformtem Kunststoffmaterial bestehen.

Hierzu 2 Seiten Zeichnungen

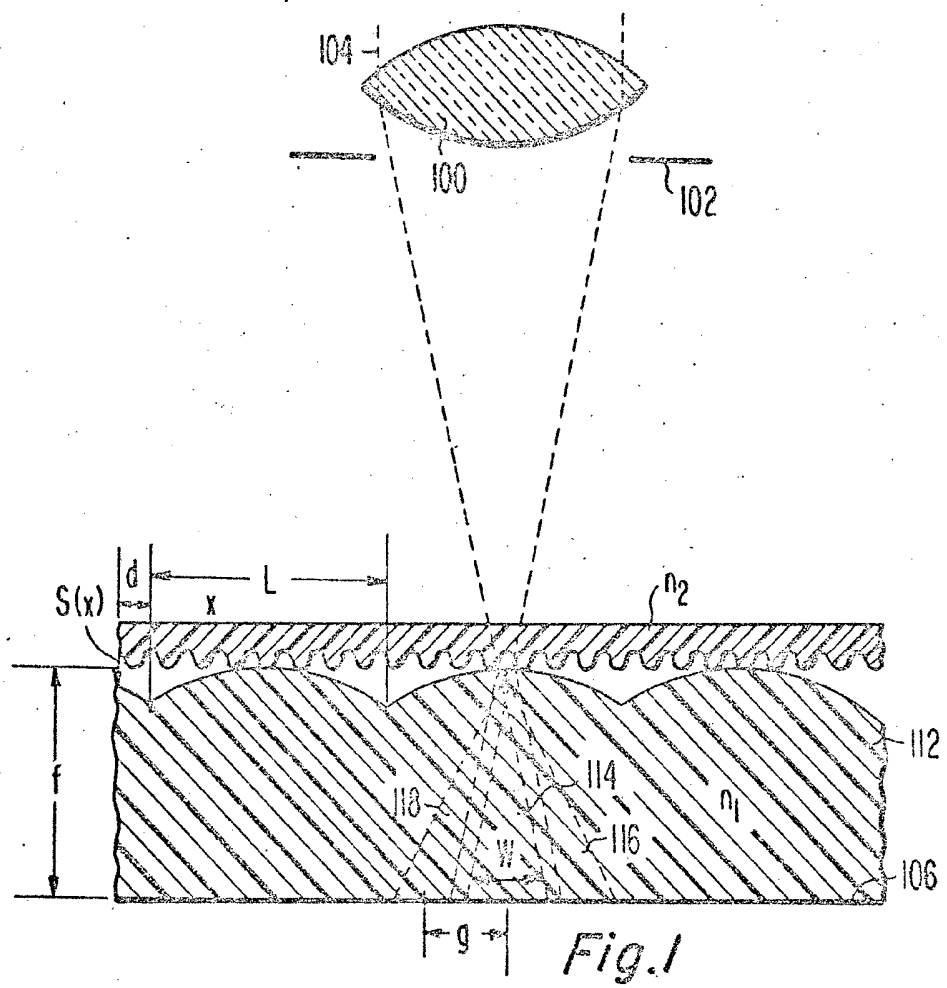


Fig.1

Fig.2

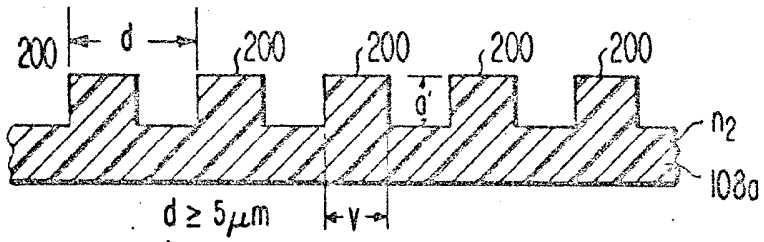
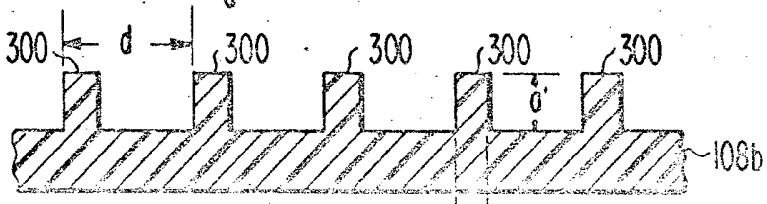


Fig.3



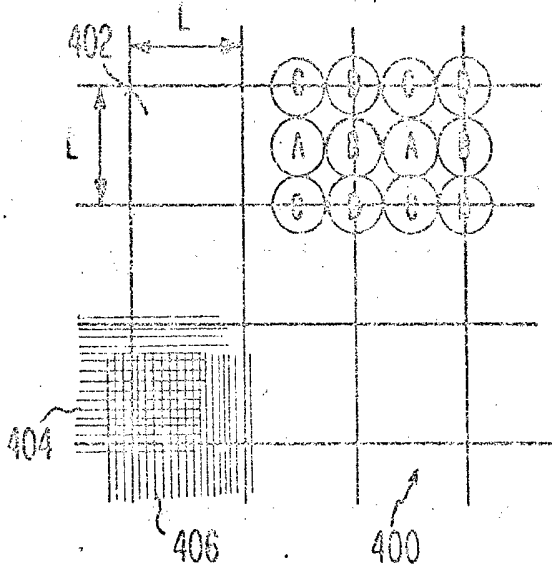


Fig.4a

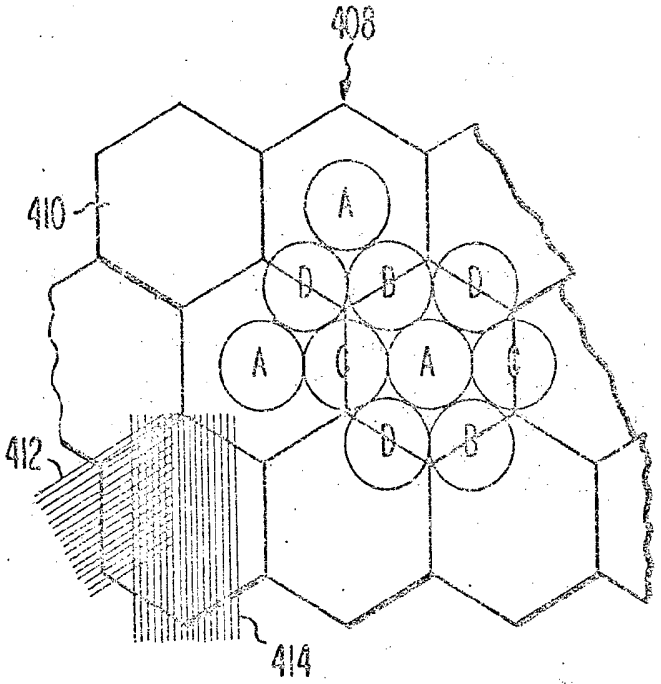


Fig.4b