

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2004-333475

(P2004-333475A)

(43) 公開日 平成16年11月25日(2004.11.25)

(51) Int.Cl.⁷

G21K 1/06
G02B 5/10
G21K 5/00
H01L 21/027
// H05H 1/24

F I

G21K 1/06 M
G21K 1/06 B
G21K 1/06 C
G02B 5/10 A
G21K 5/00 Z

テーマコード (参考)

2H042
5F046

審査請求 未請求 請求項の数 21 O L (全 10 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願2004-12084 (P2004-12084)
(22) 出願日 平成16年1月20日 (2004.1.20)
(31) 優先権主張番号 10/429413
(32) 優先日 平成15年5月5日 (2003.5.5)
(33) 優先権主張国 米国 (US)

(71) 出願人 503123152
ノースロップ・グラマン・コーポレーション
NORTHROP GRUMMAN CO
RPORATION
アメリカ合衆国カリフォルニア州9006
7-2199, ロサンゼルス, センチュリ
ー・パーク・イースト 1840

(74) 代理人 100089705
弁理士 社本 一夫
(74) 代理人 100076691
弁理士 増井 忠式
(74) 代理人 100075270
弁理士 小林 泰

最終頁に続く

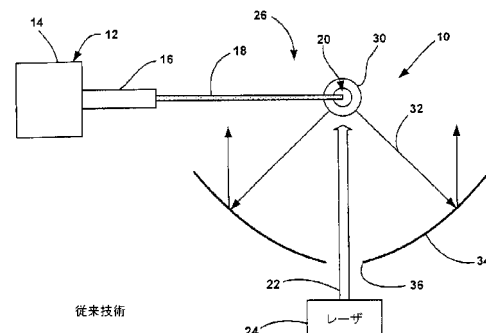
(54) 【発明の名称】 レーザプラズマEUV源用の高效率コレクタ

(57) 【要約】

【課題】

【解決手段】EUV光線78を集めるEUV光線源10の光学コレクタ70である。光学コレクタ70は、楕円形皿形反射器72を有しており、反射器72の焦点76にて発生された光は反射器72によって集められ且つ集光位置82に向けられる。切頭型環状反射器90が、皿形反射器72の外端縁84の周りに配置され、さもなければ失われるであろうEUV光線78をより多量に集める。環状反射器90によって反射された線78は、皿形反射器72の焦点76と集め位置82との間に配置された中央アクシコン反射器94に向けられ、環状反射器90によって反射された線78を所定の集め角度内にあるように方向変更する。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

光源用の光学コレクタにおいて、
焦点を有する主要反射器であって、該主要反射器の焦点にて発生された光が集光位置に向けられるようにした、前記主要反射器と、
主要反射器の外端縁の周りに配置された環状反射器であって、主要反射器によって反射されなかった第一の焦点から光を反射する前記環状反射器と、
焦点と集光位置との間に配置された中央反射器であって、環状反射器から反射された光が中央反射器から反射され且つ、集光位置に向けられるようにした、前記中央反射器とを備える、光源用の光学コレクタ。

10

【請求項 2】

請求項 1 に記載の光学コレクタにおいて、
主要反射器が、所定の寸法を有する皿形反射器であり、主要反射器から反射された光が所定の反射円錐体内に封じ込められ、
中央反射器から反射された光が反射円錐体内にあるようにした、光学コレクタ。

【請求項 3】

請求項 1 に記載の光学コレクタにおいて、
環状反射器が線形であり、
中央反射器が動力作動式アクシコン反射器 (powered axicon reflector) であり、
光が環状反射器の内面から反射され且つ、中央反射器の外面から反射されるようにした、光学コレクタ。

20

【請求項 4】

請求項 1 に記載の光学コレクタにおいて、
環状反射器が湾曲型反射器であり、
中央反射器が線形アクシコン反射器である、光学コレクタ。

【請求項 5】

請求項 1 に記載の光学コレクタにおいて、
主要反射器が楕円形反射器であり、
集光位置が楕円形反射器の焦点である、光学コレクタ。

30

【請求項 6】

請求項 1 に記載の光学コレクタにおいて、
主要反射器が、中央開口を有し、
該中央開口を通して、レーザビームが伝播し焦点にて光を発生させる、光学コレクタ。

【請求項 7】

請求項 1 に記載の光学コレクタにおいて、
主要反射器、環状反射器及び中央反射器の反射面が Si / Mo 多層を含む反射性被覆を有する、光学コレクタ。

【請求項 8】

請求項 1 に記載の光学コレクタにおいて、
該コレクタが、極紫外光線源 (extreme ultraviolet radiation source) の一部であり、光が極紫外 (EUV) 光線である、光学コレクタ。

40

【請求項 9】

請求項 8 に記載の光学コレクタにおいて、
焦点が標的位置であり、
該標的位置にて、レーザビームが標的材料を蒸発させて EUV 光線を発生させる、光学コレクタ。

【請求項 10】

極紫外 (EUV) 光線を発生させる極紫外 (EUV) 光線源において、

50

標的領域に向けられる標的材料の流れを発生させる装置と、

標的領域に向けられ、標的材料と相互作用してEUV光線を発生させるレーザビームを生じさせるレーザ源と、

EUV光線を集め且つ、EUV光線を集光位置に向ける光学コレクタであって、主要反射器を有し、標的領域が該主要反射器の焦点であり、主要反射器の外端縁の周りに配置された環状反射器と、焦点と集光位置との間に配置された中央反射器とを有する前記光学コレクタと、を備え、

標的領域にて発生されたEUV光線が主要反射器によって反射され且つ、集光位置に向けられ、

環状反射器が、主要反射器によって反射されなかった光を標的領域から反射し、環状反射器によって反射された光が中央反射器から反射され且つ、集光領域に向けられるようにした、極紫外(EUV)光線源。 10

【請求項11】

請求項10に記載の極紫外(EUV)光線源において、

主要反射器が所定の寸法を有する皿形反射器であり、

主要反射器から反射された光線が所定の反射角度内にあるように封じ込められ、中央反射器から反射された光線が反射角度内にあるようにした、源。

【請求項12】

請求項10に記載の源において、

環状反射器が線形切頭体(frustum)であり、 20

中央反射器が動力作動式アクシコン反射器であり、

光線が、環状反射器の内面から反射され且つ、中央反射器の外表面から反射されるようにした、極紫外(EUV)光線源。

【請求項13】

請求項10に記載の極紫外(EUV)光線源において、

環状反射器が、動力作動式反射器を有する切頭体であり、

中央反射器が線形アクシコン反射器である、源。

【請求項14】

請求項10に記載の源において、

主要反射器が楕円形反射器であり、 30

集光位置が楕円形反射器の焦点である、極紫外(EUV)光線源。

【請求項15】

請求項10に記載の極紫外(EUV)光線源において、

主要反射器が中央開口を有し、

該中央開口を通じて、レーザビームが伝播してEUV光線を発生させる、極紫外(EUV)光線源。

【請求項16】

請求項10に記載の極紫外(EUV)光線源において、

主要反射器、環状反射器及び中央反射器の反射面がSi/Mo多層を含む、極紫外(EUV)光線源。 40

【請求項17】

光を集める方法において、

光を主要反射器から反射させることと、

主要反射器の外端縁の周りに配置された環状反射器から、主要反射器によって反射されない光を反射させることと、

環状反射器によって反射された光を中央集光器から反射させることと、

中央反射器から反射された光を集光位置に向けることとを備える、光を集める方法。

【請求項18】

請求項17に記載の方法において、主要反射器からの光を反射させることが、光を所定の角度内にあるように反射させることを含み、 50

中央反射器から反射された光が該角度内にあるようにした、方法。

【請求項 19】

請求項 17 に記載の方法において、

主要反射器から光を反射させることが、光を楕円形皿形反射器から反射させることを含む、方法。

【請求項 20】

請求項 17 に記載の方法において、

環状反射器及び中央反射器から光を反射させることが、線形環状反射器及び円錐形中央反射器から光を反射させることを含み、

光が環状反射器の内面から反射され且つ中央反射器の外面から反射されるようにした、方法。 10

【請求項 21】

請求項 17 に記載の方法において、

環状反射器及び中央反射器から光を反射させることが、湾曲型環状反射器及び線形アクリコン反射器から光を反射させることを含む、方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、全体として、光源用の光学コレクタ、より具体的には、発生されたレーザプラズマ極紫外線（EUV）光線を高比率にて集める EUV 光線源用の高効率の光学コレクタに関する。 20

【背景技術】

【0002】

極小電子集積回路は、典型的に、当該技術分野の当業者に周知のフォトリソグラフィ工程によって基板上にパターン化され、この工程において、回路要素は、マスクを通して伝播する光ビームによって画成される。従来のフォトリソグラフィ工程及び集積回路の構築技術が益々伸展するに伴ない、回路要素は、より小型となり且つ、より互いに密に隔てられる。回路要素がより小型になるに伴ない、より短い波長及びより高い周波数を有する光ビームを発生させるフォトリソグラフィ光源を採用することが必要である。換言すれば、光源の波長が短くなるに伴ないフォトリソグラフィ工程の解像度は増大して、より小型の集積回路要素を画成することを可能にする。フォトリソグラフィ光源の現在の傾向は、極紫外線（EUV）すなわち軟らかい X 線波長の光を発生させるシステムを開発することである。 30

【0003】

EUV 光線を発生させる色々な装置が当該技術分野にて既知である。最も普及している EUV 光線源の 1 つは、レーザプラズマ標的材料として、典型的にキセノンである、気体を使用するレーザプラズマ気体凝縮源である。アルゴン及びクリプトンのような、その他の気体及び気体の組み合わせ体もレーザ標的材料用として既知である。レーザ発生プラズマ（LPP）に基づく既知の EUV 光線源において、気体は、典型的に、ノズル内にて、液体状態になるまで極低温冷却され、次に、オリフィス又はその他のノズル開口から連続的な液体流又はフィラメントとして真空プロセスチャンバ内に強制的に供給される。液体標的材料は、典型的に、真空環境内にて急速に凍結して凍結標的流れとなる。室温にて気体となる極低温冷却された標的材料が必要とされるが、その理由は、その標的材料は源光学素子上に凝縮せず、また、プロセスチャンバによって排出しなければならない副生成物の発生が最小だからである。幾つかの型式のものにおいて、標的材料が所定の直径（30 乃至 100 μm ）及び所定の液滴の間隔を有する液滴流としてノズルから放出されるようにノズルを振動させる。 40

【0004】

標的流は、典型的に、Nd:YAG レーザから高パワーのレーザビームパルスによって 50

照射され、該Nd:YAGレーザは、標的材料を加熱して高温プラズマを発生させ、この高温プラズマがEUV光線を放出する。レーザビームパルスの周波数は、用途に応じて特定のであり且つ、多様な要因に依存する。レーザビームパルスは、プラズマを発生させるのに十分な熱を提供し得るように標的領域にて特定の強さを有しなければならない。典型的なパルスの持続時間は、5乃至30nsであり、典型的なパルス強さは、 5×10^{10} 乃至 $5 \times 10^{12} \text{ W/cm}^2$ の範囲にある。

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

図1は、圧力下にて、キセノンのような適宜な標的材料を保存する標的材料の保存チャンバ14を有するノズル12を備える、上記に論じた型式のEUV光線源10の平面図である。標的材料を液体状態に極低温冷却する熱交換器又は凝縮器がチャンバ14内に設けられている。液体標的材料は、ノズル12の狭小な喉部分又は毛管16を通じて強制的に供給されて、圧力下にてフィラメント又は流れ18として標的領域20に向け真空プロセスチャンバ26内に放出される。液体の標的材料は、真空環境内にて急速に凍結し標的材料が標的領域20に向けて伝播するとき、標的材料の固体フィラメントを形成する。真空環境は、標的材料の蒸気圧力と組み合わせさせて、流れ18が移動する距離及びその他の要因に依存して、凍結した標的材料が最終的に分解して凍結した標的の破片となるようにする。

10

【0006】

レーザ源24からのレーザビーム22は、プロセスチャンバ26内にて標的領域20に向けられて標的材料フィラメントを蒸発させる。レーザビーム22からの熱によって標的材料はEUV光線32を放射するプラズマ30を発生させる。EUV光線32は、光学コレクタ34によって集められ且つ、パターン化される回路(図示せず)に向けられ又はEUV光線32を使用するその他の装置に向けられる。光学コレクタ34は、楕円形のような、光線32を集め且つ導く目的に適した任意の形状を有するものとしてすることができる。この型式のものにおいて、レーザビーム22は、図示するように、光学コレクタ34の開口36を通して伝播する。その他の型式のものはその他の形態を採用することができる。

20

【0007】

1つの代替的な型式のものにおいて、喉部分16を、圧電振動機のような適宜な装置によって振動させ、液体標的材料が放出されて液滴流を形成するようにすることができる。振動周波数(frequency of the agitation)は、液滴の寸法及び間隔を決定する。標的流れ18が一連の液滴であるならば、レーザビーム22をパルス発振させ、液滴の各々又は特定数の液滴の各々に衝突させることができる。

30

【0008】

源の効率を向上させ得るように、可能な限り多量のEUV光線が集められることが望ましい。例えば、特定のフォトリソグラフィ工程のためのEUV光線の強さが強ければ強い程、パターン化される色々なフォトレジスト等を適正に露出させるのに必要な時間は益々、短くて済む。露出時間を短縮することにより、より多数の回路を製造することができ、これにより、生産効率を向上させ且つ、コストを低減することができる。更に、光学コレクタからより多くの有用なEUV光線を提供することにより、レーザビームの強さは低下し、これにより、装置の資源を節約することもできる。

40

【0009】

光学コレクタの反射面の反射率を最適化することは、集められるEUV光線の量を増大させるための1つの方法である。典型的に、光学コレクタの反射面は、その反射率を向上させ得るように反射性被覆にて被覆されている。しかし、被覆材料は、反射面に衝突し且つ、被覆材料を解放する、プラズマによって発生された高エネルギーイオンにตอบสนองして源の構成要素を汚さないことも重要である。望まれる特徴を提供するかかる被覆の1つは、ケイ素/モリブデン(Si/Mo)多層である。しかし、光学コレクタにおける最良のSi/Mo被覆は、その理論上最大の性能のときでさえ、その上に衝突するEUV光線の約7

50

0 %しか反射しない。

【0010】

図2は、EUV光線44を集め且つ収束させる楕円形の反射器42を有し、源10における光学コレクタ34と同一型式である光学コレクタ40の平面図である。楕円形の反射器42は、中央開口46を有しており、該中央開口46を通してレーザビームは、反射器42の焦点の標的領域50まで伝播し、上記に論じた仕方にてEUV光線44を発生させる。反射器42は、反射器42を表わす線が連続するならば、楕円形の断面を有する回転形態を形成する楕円形の形状を有する。全反射器42は、当該技術分野にて周知であるように、図面内に且つ図面から伸びて長円形の皿形反射器を形成する。

【0011】

上記に論じたように、EUV光線44を可能な限り多量に集めることが重要である。本明細書に示した型式のものにおいて、EUV光線44は、反射器42の内面58から反射され、且つ、楕円体のその他の焦点52に向けられる。EUV光線44の外側線54、56は、EUV光線44を集めることができ、しかも、焦点52に向けられることのできる、反射器42の外端縁62に対する最外側の位置を表わす。最外側線54、56は、EUV光線44を使用できる円錐体の外面を画成する。線54、56によって画成された円錐体の外側のEUV光線は、EUV光線源を使用できるシステムのフォトリソグラフィ側の許容された集光角度外にあるため、使用できない。このため、集光器42の寸法は、図示するように制限される。しかし、ここで線60として示した、標的領域50から放出されたEUV光線44の一部は、反射器42によって集められず、システム内にて無駄なEUV光線として失われる。反射器42は、線60を集め得るようにより大きく製造することはできないが、依然、ある角度範囲で集める必要性を満足させる。

【課題を解決するための手段】

【0012】

本発明の教示によれば、集める光の量を増す光学コレクタが開示される。1つの実施の形態において、光学コレクタはEUV光線を集めるEUV光線源の一部である。光学コレクタは、楕円形皿形反射器のような反射器を備えている。反射器の焦点にて発生された光は反射器によって反射され且つ集光位置に向けられる。さもなければ失われるであろう光をより多量に集めるため、皿形反射器の外端縁の周りに環状反射器が設けられている。環状反射器によって反射された光は、皿形反射器の焦点と集光位置との間に配置された中央反射器に向けられ、環状反射器によって反射された光を所定の集光領域及び角度内となるように方向変更する。

【0013】

1つの実施の形態において、環状反射器は線形の形状であり、中央反射器（アクシコン（axicon））は小型の多項形状の（polynomial）円錐形反射器であり、この場合、光は環状反射器の内面から及び中央反射器の外面から反射される。1つの代替的な実施の形態において、環状反射器は回転反射器の多項体であり、中央反射器は線形円錐体反射器である。

【0014】

本発明の更なる有利な効果及び特徴は、添付図面と共に参照したとき、以下の説明及び特許請求の範囲から明らかになるであろう。

【発明を実施するための最良の形態】

【0015】

EUV光線源用の光学コレクタに関する本発明の実施の形態の以下の説明は、性質上、単に一例にしか過ぎず、本発明又はその適用例或いは用途を制限することを何ら意図するものではない。例えば、以下の説明は、特に、EUV光線源にて使用される光学コレクタに関するものである。しかし、当該技術分野の当業者に理解されるように、光学コレクタは、その他の波長の光を集めるその他のシステムにも適用される。

【0016】

図3は、本発明の1つの実施の形態による、上記に論じたEUV光線源10にて使用可

10

20

30

40

50

能な光学コレクタ70の断面平面図である。該光学コレクタ70は、中央開口74を有する楕円形の皿形反射器72を有しており、該中央開口74を通して上記に論じたように、レーザビームが標的領域76に伝播する。EUV光線78は、上記に論じたように、標的領域76にて発生され、皿形反射器72の内面80から反射され且つ集光位置82に向けられる。この実施の形態において、標的領域76は楕円形反射器72の1つの焦点にあり、集光位置82は楕円形反射器72の他方の焦点にある。しかし、本発明の範囲に属するその他の実施の形態において、楕円形反射器72は、特定の用途に適したその他の光学的形状体を備えることができ、この場合、標的領域76及び集光位置82は反射器72の焦点とはならない。

【0017】

10

上記に論じたように、反射器72の外端縁84から反射された光線78の外側線86、88は、その円錐体の外側の光が使用不能である、円錐体の外面を画成する。皿形反射器72をより大きく形成するならば、線86、88によって画成された円錐体は、線78の一部がEUV光線78を使用してシステムの角度付き受け入れ部の外側となるより大型の円錐体を画成するであろう。本発明によれば、環状の線形切頭反射器のような、環状反射器90は、さもなければ失われる可能性のあるEUV光線78を集め且つ反射し得るよう反射器72の外端縁84に隣接する位置に設けられる。このため、反射器72によって反射されないであろう光線78の線92は、環状反射器90によって反射される。

【0018】

通常、反射器90によって反射された線92は、線86、88によって画成された円錐体の外側にある。しかし、本発明によれば、例えば、動力作動式アクシコン反射器のような、中央反射器94が、標的領域76と集光位置82の間に設けられて反射器90によって反射された線92の方向を変更する。明らかであるように、環状反射器90から反射された線92は、反射器94によって方向変更され、線86、88によって画成された円錐体内にあるようにする。この実施の形態において、反射器90、94は、2つの回転面であり、ここで、線92は反射器90の内面から反射され且つ、反射器94の外面から反射される。

20

【0019】

反射器90の内面及び反射器94の外面は、EUV光線源用の適宜な被覆材にて被覆される。1つの実施の形態において、反射器90、94上の被覆は、通常は、Si/Mo多層である、反射器72の内面80の被覆と同一である。

30

【0020】

図4は、本発明の別の実施の形態による、光線源10内で同様に使用されることができ、光学コレクタ70と同様である光学コレクタ102の断面平面図であり、ここで、同様の要素は同一の参照番号で示してある。この実施の形態において、環状反射器90は、図示するように、湾曲形態を有する環状反射器104と置換されている。また、中央反射器94は、線形アクシコン反射器10にて、又は、動力作動部を有する切頭反射器にて置換されている。この実施の形態において、通常、失われるであろう線は、反射器104、106によって集められ且つ方向変更される。

【0021】

40

上記の説明は、本発明の単に一例としての実施の形態を開示し且つ記述するものである。当該技術分野の当業者は、上記の説明及び添付図面並びに特許請求の範囲から、特許請求の範囲に記載された本発明の精神及び範囲から逸脱せずに、各種の変更、改変及び変化を具体化することが可能であることが容易に理解されよう。

【図面の簡単な説明】

【0022】

【図1】既知のEUV光線源の平面図である。

【図2】図1に図示したEUV光線源用の既知の光学コレクタの断面平面図である。

【図3】本発明の1つの実施の形態による、EUV光線のような光を集める光学コレクタの断面平面図である。

50

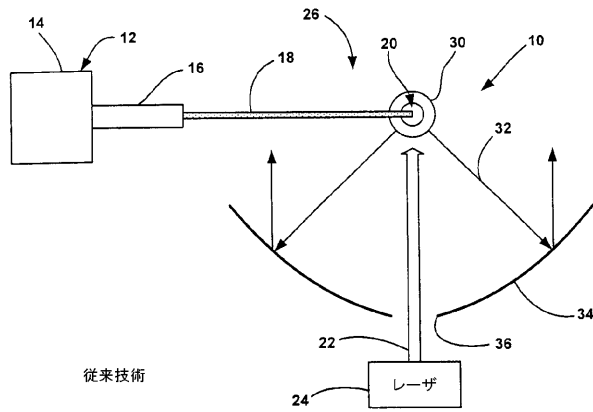
【図 4】本発明の別の実施の形態による、E U V 光線のような光を集める光学コレクタの断面平面図である。

【符号の説明】

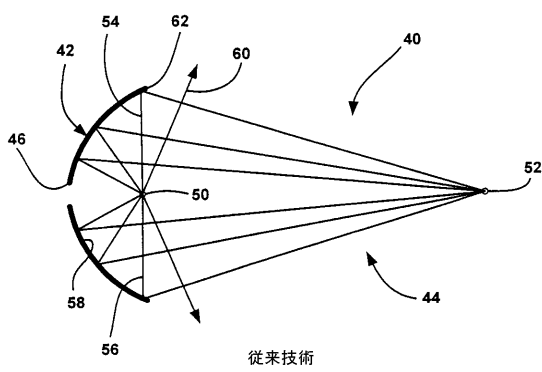
【 0 0 2 3 】

1 0	E U V 光線源	
1 2	ノズル	
1 4	チャンバ	
1 6	毛管	
1 8	流れ	
2 0	標的領域	10
2 2	レーザビーム	
2 4	レーザ源	
2 6	プロセスチャンバ	
3 0	プラズマ	
3 2	E U V 光線	
3 4	光学コレクタ	
3 6	開口	
4 2	楕円形の反射器	
4 4	E U V 光線	
4 6	中央開口	20
5 0	標的領域	
5 2	焦点	
5 4、5 6	最外側線	
5 8	反射器の内面	
6 0	線	
7 0	光学コレクタ	
7 2	皿形反射器	
7 4	中央開口	
7 6	標的領域	
7 8	E U V 光線	30
8 0	皿形反射器の内面	
8 2	集光位置	
8 4	反射器の外端縁	
8 6、8 8	外側線	
9 0	環状反射器	
9 2	反射器によって反射された線	
9 4	中央反射器	
1 0 2	光学コレクタ	
1 0 4、1 0 6	反射器	40

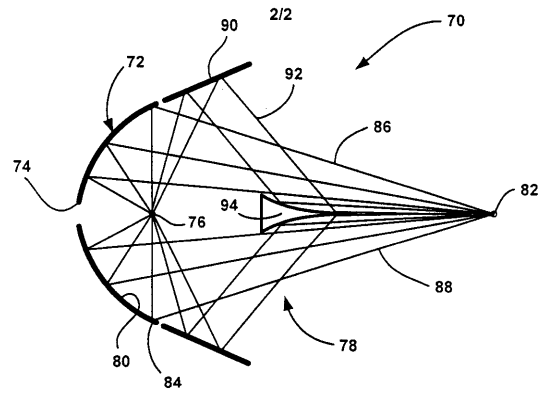
【図 1】



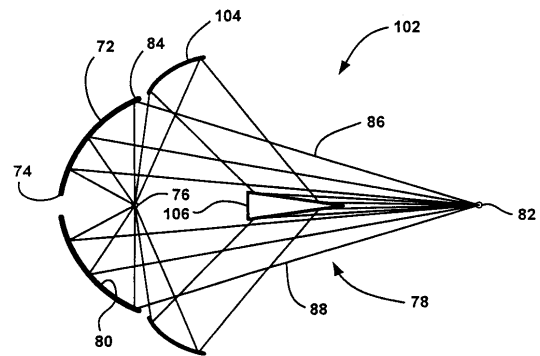
【図 2】



【図 3】



【図 4】



フロントページの続き

(51)Int.Cl.⁷ F I テーマコード(参考)
H 0 1 L 21/30 5 3 1 S
H 0 5 H 1/24

(74)代理人 100080137

弁理士 千葉 昭男

(74)代理人 100096013

弁理士 富田 博行

(74)代理人 100093089

弁理士 佐久間 滋

(72)発明者 ジョナサン・ダブリュー・アレンバーグ

アメリカ合衆国カリフォルニア州 9 0 4 0 5 , サンタ・モニカ , オーシャン・パーク・ブルバード 1 2 1 2 , ナンバー 1 5

F ターム(参考) 2H042 DA08 DA09 DA20 DB02 DC02 DD01 DD07 DE07
5F046 GC03