

**日本サイプレス株式会社**

〒164-0012 東京都中野区本町 1-32-2 A-エービル 17F
TEL. 03-5371-1921 FAX. 03-5371-1955

日付	平成16年3月16日	差出人	小佐野 求美
会社名	大日本スクリーン製造株式会社		
部署	第一技術部 GA事業部		
氏名	高田 様	FAX. NO.	0774-46-7999
件名	Design Wave 記事原稿		

合計 15 ページ (表紙含む)

お世話になります。

この度はEメール配信に不備がございまして誠に申し訳ございませんでした。

メールの内容を以下に転記させていただきます。

ご多忙中申し訳ございませんがご承認につきましては、できれば3月19日までにお願いできればと存じます。

<背景>

CQ出版社の月刊誌であるDesign Wave Magazineより、5月号(4月10日売り)に予定している「MEMS特集」の中で弊社のGLVテクノロジーに関する記事執筆依頼がありました。

弊社の子会社であるSLM社のBob Monteverdeが記事執筆を担当することとなり添付の原稿を送ってまいりました。(参考:DW GLV Article.doc)

記事の中で貴社のアプリケーションに関する記述があり、Design Waveよりこのアプリケーションの写真を掲載できないか。という依頼がありました。

<お願い>

- ◆ 添付記事の掲載及び写真(Plate Rite Ultima)の掲載のご許可をお願い致します。

尚、添付の原稿と画像はあくまでも初稿でございますので、変更があることをご了承ください。

<以降進行手順>

- ◆ 貴社より記事内容及び製品写真使用のご許可。(3月19日頃)
- ◆ 弊社より校正用原稿のご提出 (3月22日の週)
- ◆ 貴社より最終のご許可。(3月22日の週)

ご質問がございましたら、お手数ですがお知らせくださいませ。

Grating Light Valve Technology – A High-Speed Spatial Light Modulator For High Performance Imaging

Silicon Light Machines

February 2004

Robert J. Monteverde

Background: Spatial Light Modulators

A spatial light modulator (SLM) is a device that has an array of optical elements (pixels), each of which can independently act as an optical “valve” to adjust, or modulate light intensity. The modulation of the pixels is determined by electronically addressing the SLM with image data. So, in essence, the SLM converts image information from the electronic domain into light.

An SLM does not create its own light, but rather it acts on light delivered to it from some source, such as a lamp or laser. An SLM can either operate in reflective mode or transmitted mode. But in either case, the result is the same: the SLM works in an imaging system to take the place of film or other static media, and to create an image that can dynamically be reconfigured by the input electronics.

Several technologies have been used as spatial light modulators. Acousto-optic modulators are used in direct-write lithography systems. Liquid-crystal devices that operate in transmission or reflection are used in digital projection systems. And, MEMS devices such as Texas Instrument's DMD and Grating Light Valve device from Silicon Light Machines are gaining increased acceptance by users.

The most obvious application of SLMs is for digital displays, such as consumer TVs, office projectors, and cinema. In addition, there are some very demanding niche applications for digital projectors such as flight simulators and command-and control centers.

SLMs are also being used effectively for digital printing. In the commercial graphic arts there is strong desire to go directly from "computer-to-plate" when making the printing plate for offset lithography presses. This eliminates an intermediate film step. In the manufacture of integrated circuits, photomasks are used instead of film during the microlithography step of chip-making. But as the dimensions of the images on the chips get smaller, the cost of the photomasks is skyrocketing. As a result, a great deal of interest has been generated in the IC industry for a "maskless stepper" that uses an SLM as a dynamically reconfigurable photomask.

In the field of optical telecom, SLM devices are being used to switch optical signals in fiber optics lines. The SLM has the ability to perform this function on a wavelength-by-wavelength basis, a very valuable benefit for DWDM signals. Strictly speaking, the device is not being used as a spatial light modulator, but rather as a wavelength selectable switch.

Grating Light Valve™ Technology

The Grating Light Valve™ (GLV™) device is a MEMS spatial light modulator that has been developed and successfully commercialized by Silicon Light Machines. The GLV device is an array of dynamic diffractive elements that can switch light on and off, or modulate the light to any shade of gray.

The GLV device is built predominantly in a CMOS manufacturing facility. The compatibility between the GLV MEMS process and CMOS fabrication provides highly optimized and tested processes, rapid wafer lot turn-around time and device development, high yield, tight process tolerances, and automated process monitoring.

The GLV optical MEMS device is a dynamic diffraction grating that has been successfully employed in several imaging and display applications. Characteristic of the display GLV device is high-speed actuation capability, fine analog attenuation control precision, high extinction ratio, high efficiency, and spatially seamless adjustment of a beam of light such as that in a display or printing system. Also characteristic of the GLV device is the absence of fatigue, wear, and stiction failure modes that are typical in MEMS devices. Excellent reliability testing results have been shown.

The GLV device consists of an array of parallel micro-ribbons that are suspended above an air gap. The ribbons are configured such that alternate ribbons can be dynamically actuated, and under high tension so that they remain taut when not actuated (Fig. 1). The top layer of the ribbon is aluminum that serves as both the reflective layer and the top electrode for electrostatic actuation. When a voltage is applied to the ribbon, electrostatic attraction deflects the ribbon downward.

When the voltage of the active ribbons is set to ground potential, all ribbons are undeflected, and the device acts as a mirror. As the voltage to an active ribbon is increased, this region of the array begins to diffract light into predominantly the first order diffraction lobes, thus attenuating the light that is reflected specularly. As the ribbon is deflected further, the attenuation increases until the deflection of the ribbon with respect to the bias ribbons reaches $1/4$ of the wavelength of the incident light. At this point the attenuation of the specular reflection is maximum (Fig. 2).

To form a complete GLV device, the ribbons are replicated several thousand times to form a 1-dimensional array of diffracting elements, as shown in Fig. 3. Again, the compatibility with CMOS processing makes this an easy task. A key feature of the GLV array is that the individual diffraction elements are "seamless" in that there are no physical boundaries, or "dark spaces" between elements.

High-Resolution Digital Display:

As a spatial light modulator, the GLV device is the heart of high-resolution digital displays. By taking advantage of the high speed of the GLV device, a 1-D array of a few thousand GLV elements is used to create a 2-D image with several million pixels.

The display system works by illuminating GLV devices with a stripe of CW laser illumination. Three GLV devices are used, each one paired with a different laser color, red, green and blue.

The laser light (remember – it's a stripe) is reflected off the GLV device and projected onto a screen, where it forms a single column of pixels on the screen. The projection optics employs a Fourier filter to properly select the desired diffraction order. The GLV devices are fed with HDTV video image data, and the 2-D image is created by then scanning this column of pixels across the screen to paint the full picture.

The ability to create a large 2-D image with a 1-D spatial light modulator array is very powerful, because this allows for a display that is more easily scalable to very high pixel counts. Silicon Light Machines has built a 1080 x 1920 HDTV projection display system, a total of about 2 Mega-pixels, with a 1080 pixel GLV device. That is a 2000:1 ratio of screen pixels to GLV pixels!

Furthermore, an image created by a GLV-based HDTV projector has a virtual fill factor of 100%. The vertical axis is completely filled as a result of the seamless nature of the GLV device, while the horizontal axis is filled courtesy of the CW lasers.

So, why doesn't everyone use this 1-D scanning architecture for digital display? Well this scheme requires (for HDTV) that each pixel of the spatial light modulator deliver 1920 image pixels to the screen in $1/60^{\text{th}}$ of a second. That's a modulation rate of over 100 kHz; and each of these pixels must have gray-scale. Achieving a switching rate this fast while simultaneously providing gray-scale is problematic for tilt-mirror MEMS, but well within the capability of the GLV-device.

In order to commercialize the GLV technology for consumer and industrial displays, Silicon Light Machines has an exclusive relationship with Sony Corporation.

In addition, Silicon Light Machines has teamed up with Evans and Sutherland to use the GLV device in high-resolution displays for flight simulators. Flight simulator displays—and the pilots that use them—require superior resolution. SLM's latest GLV device will enable the production of displays with 20 million pixels, superior to any currently on the market.

Computer-to-plate Offset Lithography:

Offset lithography printing is a centuries old technology that is moving to digital imaging. In offset printing, printing plates are patterned in machines called platesetters, and traditional platesetters use a film process to transfer an image onto the printing plate. A new generation of platesetters uses a method called computer-to-plate (CtP) that digitally images the plate directly, and eliminates the intermediate film step. This shortens the turn-around time and cuts material costs for the users in the print shop.

The GLV device is the key component of the optical write engine in CtP platesetters used in the commercial printing business. The GLV device writes images directly onto the

Agfa and Dai-Nippon Screen use the GLV modules from Silicon Light Machines in their CtP platesetters.

Maskless Microlithography:

Researchers in Professor Henry Smith's group at MIT are using Silicon Light Machines' GLV device in conjunction with an array of Fresnel zone plates to print images on wafers – without masks. By using the GLV device as the write engine, and MIT's zone-plate array optics, the MIT scientists are building a maskless lithography system.

The GLV device is ideally suited to dynamically control signals in a DWDM optical network. By using a demultiplexer, the individual channels of a DWDM signal can spatially spread along the 1-D array of the GLV device. And then by adjusting the attenuation at each element along the GLV array, the power spectrum can be precisely and filtered.

And, the GLV device is used as a completely flexible wavelength switch in Reconfigurable Optical Add/Drop Multiplexers (ROADMs). Here, the GLV device is used as a tunable notch filter to selectively block specific DWDM channels, while letting other channels pass. These modules enable more efficient routing of network traffic at busy nodes.

Summary

Most MEMS-based spatial light modulators were originally developed with digital display applications in mind. And indeed, they have found a home in this market and are rapidly changing the way we see projected images. But in addition, these devices are also changing the way images are printed, both for high-quality documents in commercial print shops as well as for advanced chips in IC fabs, as well as changing the way we communicate.

記事：Design Wave

Grating Light Valve 技術 - 高性能画像処理用高速空間光変調器

Silicon Light Machines

2004 年 2 月

Robert J. Monteverde

背景：空間光変調器

空間光変調器 (SLM: spatial light modulator) は、光学素子 (画素) アレイを持つデバイスで、各光学素子は、独立して、光度を調整、つまり変調するための光学「バルブ」として機能することができます。画素の変調は、画像データで SLM を電子的にアドレスすることによって決定されます。したがって、SLM は、本質的には画像情報を電子領域から光に変換します。

SLM は、それ自体の光を生成することせず、ランプやレーザなどの光源から送られてきた光に作用します。SLM は、反射モードまたは透過モードで動作することができます。しかし、いずれの場合にも結果は同じです。すなわち、SLM は、フィルムまたはその他の静的媒体の場所を使用し、入力電子装置が動的に再構成できる画像を生成する画像処理システムで働きます。

複数の技術が空間光変調器として使用されてきています。音響光学変調器は、直接書き込みリソグラフィシステムで使用されています。透過または反射で動作する液晶デバイスは、デジタル投影システムで使用されています。そして、Texas Instrument 社の DMD や Silicon Light Machines 社の Grating Light Valve デバイスなどの MEMS デバイスは、ユーザによって次第に受け入れられるようになっています。

SLM の最も明白な適用分野は、消費者向けのテレビやオフィスのプロジェクタ、映画などデジタル ディスプレイ用です。加えて、フライト シミュレータや指揮管制センタなどのデジタルプロジェクタ向けに非常に要求が厳しいニッチな適用分野があります。

SLM は、デジタル印刷にも効果的に使用されつつあります。商業印刷では、オフセット印刷用の刷版を作成するときに「コンピュータから刷版 (CTP)」に直接進みたいという強い願望があります。こうすれば、中間のフィルム作成工程が不要になります。

集積回路の製造では、チップ生成のマイクロリソグラフィ工程で、フィルムの代わりにフォトマスクが使用されます。しかし、チップ上の画像の寸法は小さくなる一方なので、フォトマスクのコストは急激に上昇しています。その結果、IC 産業では、動的に再構成可能なフォトマスクとして SLM を使用する「マスクなしステッパ」に対して、非常に大きな関心が生まれてきています。

光通信の分野では、SLM デバイスは、光ファイバ回線での光信号のスイッチングに使用されつつあります。SLM は、波長ごとにこの機能を実行することができ、DWDM 信号には非常に価値

のある利点です。厳密に言うと、デバイスは 空間光変調器としては使用されてはおらず、波長選択スイッチとして使用されています。

Grating Light Valve™技術

Grating Light Valve™ (GLV™) デバイスは、Silicon Light Machines が開発して商業化に成功した MEMS 空間光変調器です。GLV デバイスは、光をオンおよびオフにスイッチングする、すなわち、光を任意の白黒階調に変調することができる動的回折素子アレイです。

GLV デバイスは、主として CMOS 製造施設で生産されています。GLV MEMS プロセスと CMOS 製造との間に互換性があるため、最適化度が高く試験された工程、ウェーハ ロット ターンアラウンド時間の短縮と迅速なデバイス開発、高い生産性、厳しい工程許容誤差、および自動工程監視が実現しています。

GLV 光 MEMS デバイスは、画像処理とディスプレイのいくつかの適用分野で採用されて成功している動的回折格子です。ディスプレイ GLV デバイスの特性は、高速な作動能力、精細なアナログ減衰制御精度、高い減光比、高い効率、および表示または印刷システムにあるものなど光線の空間的にシームレスな調整です。また、MEMS デバイスでよく見られる疲労、磨耗およびスティクションの各故障モードが存在しないことも GLV デバイスの特性です。優れた信頼性試験結果が得られています。

GLV デバイスは、エアギャップの上に吊られている平行なマイクロリボンアレイから構成されます。リボンは、交互のリボンを動的に作動できるように構成され、リボンが作動されないときにはびんと張ったままであるように高い張力がかけられています(図1)。リボンの最上部層は、反射層としても静電作動のための上部電極としても機能するアルミニウムです。電圧をリボンに印加すると、静電引力がリボンを下向きに反らせます。

アクティブなリボンの電圧を接地電位に設定すると、すべてのリボンは反らず、デバイスは鏡として働きます。アクティブなリボンへの電圧を上げていくと、アレイのこの領域は、光を、主として一次回折ローブに回折し始め、したがって、鏡面反射される光を減衰させます。リボンをさらに反らせると、バイアスリボンに対するリボンの反りが入射光の波長の $1/4$ に達するまで、減衰は増えます。この時点で、鏡面反射の減衰は最大になります(図2)。

完璧な GLV デバイスを形成するには、図3に示しているように、リボンを数千回も複製して回折素子の一次元アレイを形成します。この場合にも、CMOS 処理との互換性があるためこれは簡単な作業です。GLV アレイの重要な特徴は、素子間に物理的境界、すなわち、「暗いスペース」がないという点で、個別回折素子は「シームレス」であるということです。

高解像度デジタル ディスプレイ :

空間光変調器として、GLV デバイスは、高解像度デジタル ディスプレイの心臓部です。GLV デバイスの高速性を利用することによって、数千の GLV 素子の一次元アレイを使用して数百万画素の二次元画像を生成します。

表示システムは、CW レーザ光のストライプで GLV デバイスを照射することによって働きます。3 つの GLV デバイスを使用し、各デバイスは、赤、緑、青の異なるレーザ色と対になっています。

レーザ光（ストライプであることを忘れないでください）は、GLV デバイスから反射されてスクリーン上に投影され、1 つの画素列をスクリーン上に形成します。投影光学系では、希望する回折次数を適切に選択するためにフーリエ フィルタが使用されています。GLV デバイスは HDTV ビデオ画像データを供給され、スクリーン全体にわたってこの画素列を走査して全体の画像を描くことによって、二次元画像が生成されます。

空間光変調器の一次元アレイを使用して大きな二次元画像を生成できることは、非常に強力な特徴です。これによって非常に大きな画素数まで容易に拡大できるディスプレイが可能になるからです。Silicon Light Machines は、1080 × 1920 HDTV 投影表示システムを作成しました。このシステムは、合計で約 2 メガ画素であり、1,080 画素の GLV デバイスを使用しています。GLV 画素に対するスクリーン画素の比率は 2000:1 にもなります。

さらに、GLV ベースの HDTV プロジェクタによって作成される画像は、実質的に 100% のフィルファクタを有しています。GLV デバイスのシームレスな性質の結果として、垂直軸は隙間がなく、水平軸は CW レーザの性能に応じます。

それでは、なぜだれもがデジタル ディスプレイにこの一次元スキャニング アーキテクチャを使用しないのでしょうか。確かに、このスキームは、(HDTV の場合には) 空間光変調器 の各画素が 1 秒の 1/60 でスクリーンに 1920 画像画素を送ることを必要とします。これは、100 kHz を超える変調比であり、これらの画素のそれぞれは白黒階調を持っていなければなりません。白黒階調を同時に供給しながらこの高速のスイッチング速度を達成することは、鏡を傾けるタイプの MEMS には難しいものでした。しかし、GLV デバイスの登場により達成することができるようになりました。

GLV 技術を消費者向けおよび産業用のディスプレイに商業化するため、Silicon Light Machines 社は、ソニー株式会社と独占的な関係を持っています。

加えて、Silicon Light Machines 社は、Evans 社および Sutherland 社と共同してフライト シミュレータ用の高解像度ディスプレイに GLV デバイスを使用しています。フライト シミュレータのディスプレイおよびそれを使用するパイロットは、優れた解像度を必要とします。SLM の最新

GLV デバイスは、市場に現在あるどのディスプレイよりも優れた 2,000 万画素のディスプレイの生産を可能にします。

CiP (コンピュータから刷版) オフセット印刷:

オフセット印刷は 1 世紀の歴史を有する技術で、デジタル画像処理に移行しつつあります。オフセット印刷では、刷版はプレートセッタと呼ばれる機械でパターン化され、伝統的なプレートセッタは画像を刷版に移すフィルム工程を使用します。新世代のプレートセッタは、刷版をデジタルで直接に画像化して中間のフィルム工程をなくす CiP (コンピュータから刷版) と呼ばれる方式を使用します。この手法は、印刷所での使用者のターンアラウンド時間を短縮し、資材コストを削減します。

GLV デバイスは、商業印刷ビジネスで使用されている CiP プレートセッタの光書き込みエンジンの主要コンポーネントです。GLV デバイスは、画像を金属刷版に直接に書き込みます。GLV ベースの表示システムと同様に、CW レーザからのライン照射が使用されます。しかし、似ている点はこれだけです。印刷での色は照射によってではなくインクによって決定されるので、1 つの GLV デバイスのみ使用され、色空間のカバー範囲は、複数の刷版 (色ごとに 1 枚のプレート) を印刷することによって行われます。これらの CiP システムは、830 mm で動作する赤外線レーザを採用しており、刷版上のレジストは熱で有効になるため、40~80 ワットの高いレーザ出力が高スループットを維持するために使用されます。

Agfa 社および大日本スクリーン製造株式会社は、Silicon Light Machines 社の GLV モジュールを CiP プレートセッタで使用しています。

この場合にも、GLV デバイスの高い変調速度のおかげで、CiP プレートセッタはレーザ出力速度と同じ速度で印刷できます。GLV ベース刷版 Agfa は、1030 × 800 mm 刷版を約 2.4 分で印刷します。これは 2400 ドット/インチ (dpi) で達成され、この解像度は刷版の表面でおよそ 10 ミクロンのスポットに相当します。

マスクなしマイクロリソグラフィ:

IC イメージを印刷するためにウェーハ ステッパで使用されるフォトマスクのコストが、著しい速度で上昇しています。100 nm プロセス ノードの IC に設定されるマスク全体のコストは、数百万ドルを超えると推定されます。このため、少量の ASIC 部品は財務的に厳しい制約を受けます。ASIC では、マスクのコストを少数のユニットの販売で償却しなければなりません。この場合にも、空間光変調器によってマスクなしのリソグラフィが可能になるため、今まで必要だったマスクのコストは不要になります。

MIT の Henry Smith 教授グループの研究者たちは、フレネル ゾーン プレート アレイに加えて Silicon Light Machines 社の GLV デバイスを使用して、マスクなしに画像をウェーハ上に印刷して

います。GLV デバイスを書き込みエンジンとして使用し、MIT のゾーン プレート アレイ光学部品を使用することによって、MIT の科学者たちは、マスクなしリソグラフィ システムを構築しています。

光通信：

GLV デバイスは、DWDM 光ネットワークで信号を動的に制御するのに理想的です。デマルチプレクサを使用することによって、DWDM 信号の個別チャンネルは、GLV デバイスの一次元アレイに沿って空間的に広がることができます。そのため GLV 配列に沿った各素子での減衰を調整することによって、出力スペクトルを精密に選別することができます。

Silicon Light Machines 社は、光ファイバでのすべてのチャンネルの出力レベルを精密にバランスさせ、より長い距離に、より高品質の信号を送ることを可能にする GLV ベースのモジュールを作成しました。ダイナミック ゲイン イコライザと呼ばれるこれらのモジュールは、エルビウム添加光ファイバ増幅器の固有の一定でないゲインプロファイルを一定にします。一定の DWDM 信号ほど、電子的に再生成しなくても遠くに送ることができます。

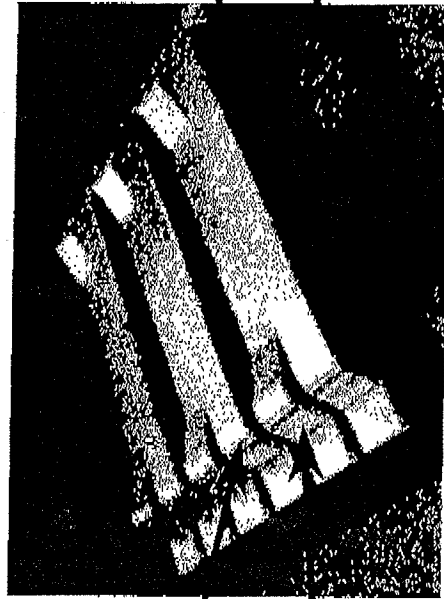
また、GLV デバイスは、ROADM（再設定可能光アド/ドロップ マルチプレクサ、Reconfigurable Optical Add/Drop Multiplexer）で完璧に柔軟な波長スイッチとして使用されています。この場合にも、GLV デバイスを、調整可能なノッチ フィルタとして使用して特定の DWDM チャンネルを選択的にブロックし、他のチャンネルを通過させています。これらのモジュールにより、トラフィックの集中するノードでのネットワーク トラフィックをより効率的にルーティングさせることができます。

まとめ

大部分の MEMS ベースの空間光変調器は、もともとはデジタル ディスプレイ用途を考慮して開発されました。実際にこの市場を基盤とし、投影画像方法を急激に変えています。しかし、これに加えて、商業用印刷所での高品質な文書および IC ファブでの高度なチップのための画像を印刷する方法も変えており、さらに私たちが通信する方法も変えています。

1

2



固定型リボン

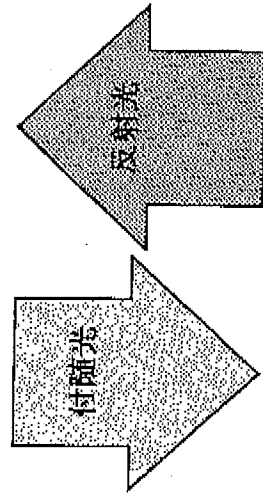
作動型リボン
(バイアス電流を応用)

エアギャップ

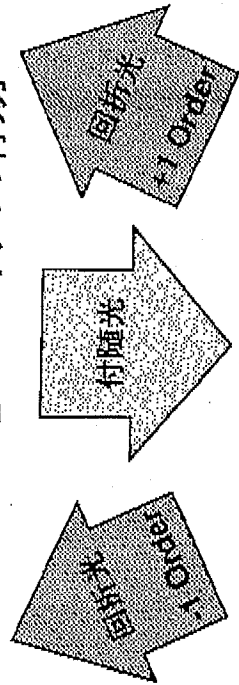
通常電極
(平面)

1

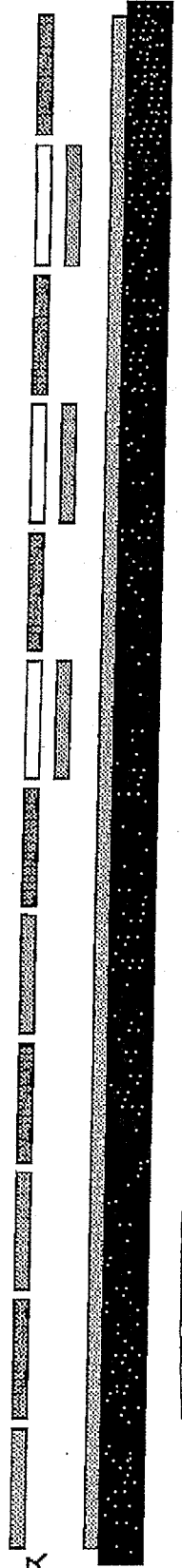
鏡面反射状態 - バイアス無効



回折状態 - バイアス有効



GLVデバイス
断面図



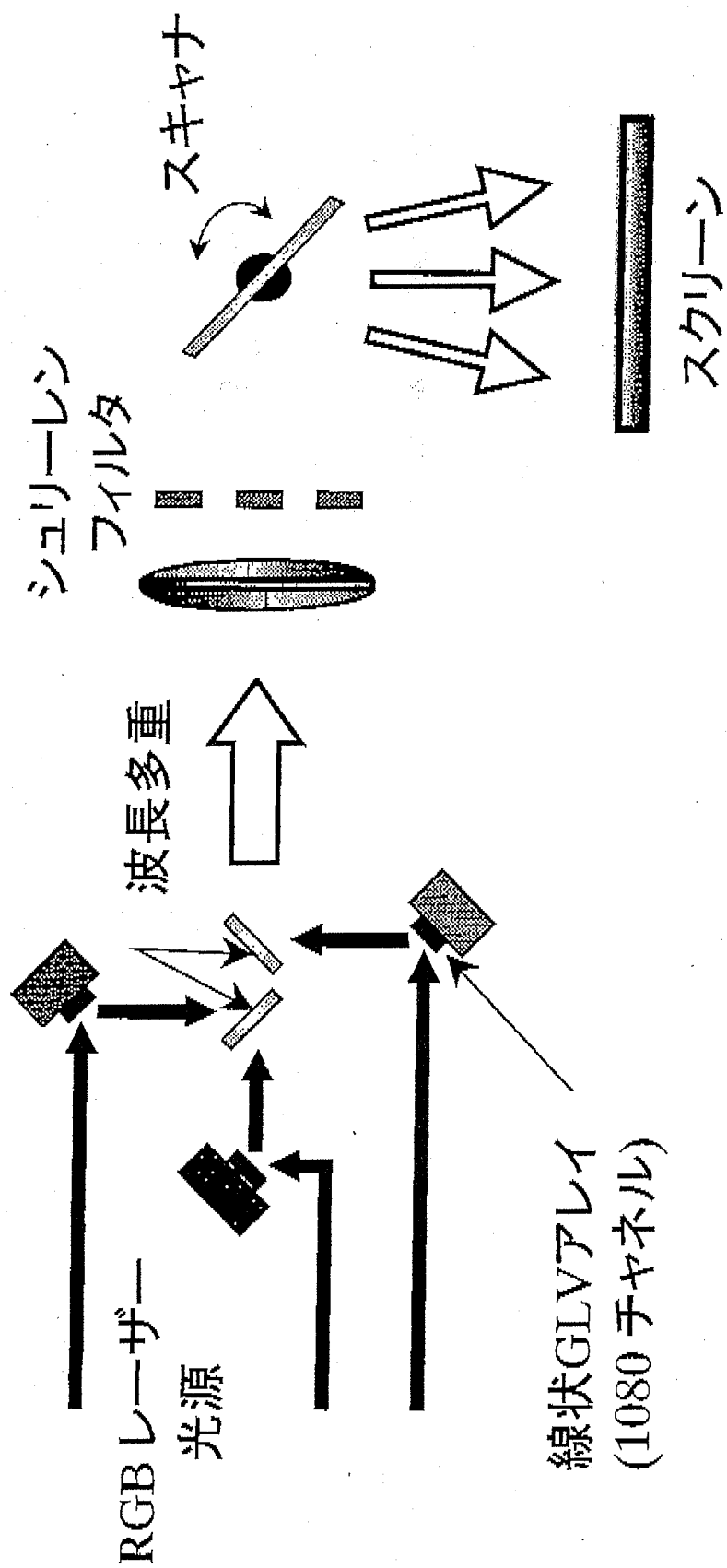


図3

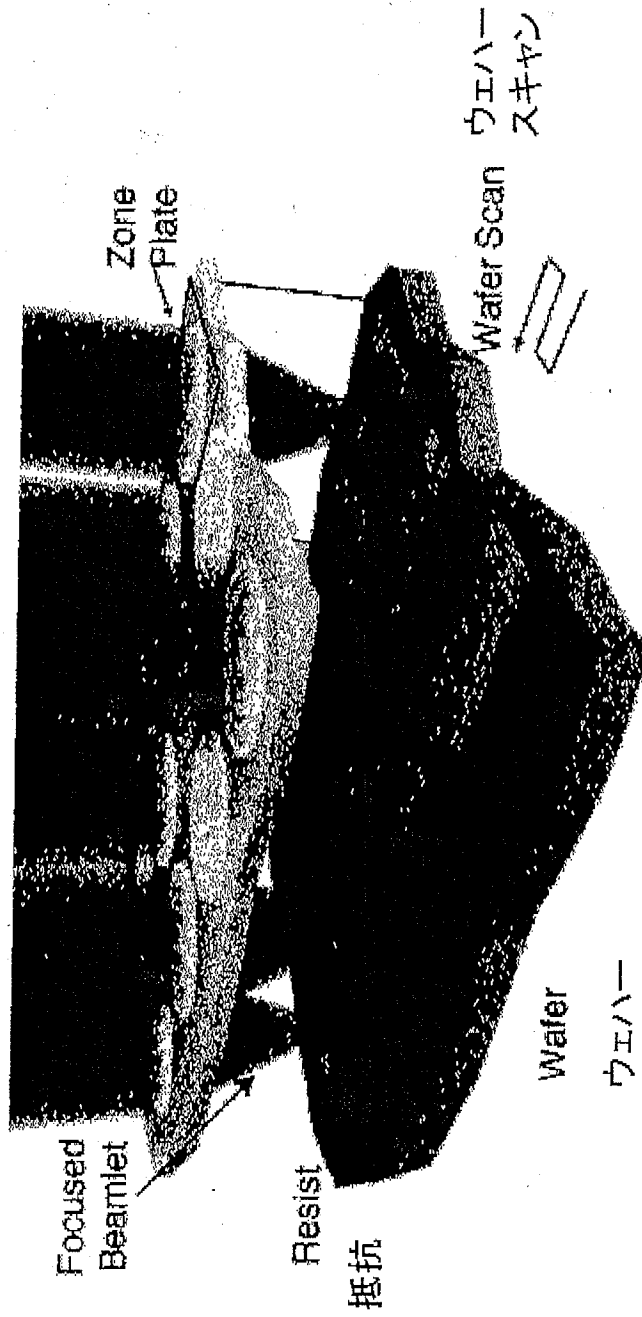
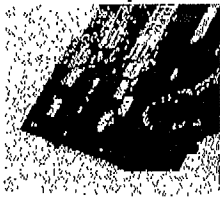


図 5-A

GLV モジュール

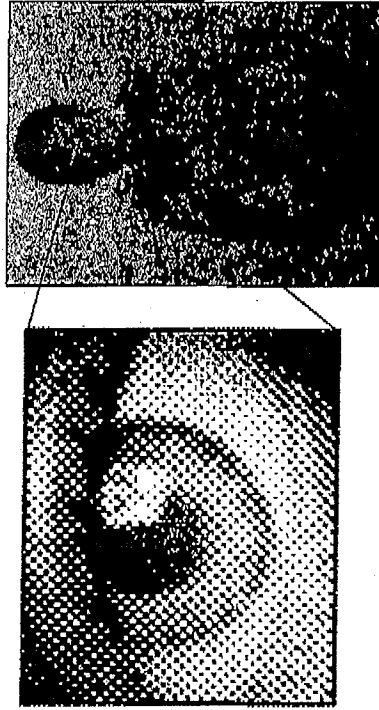
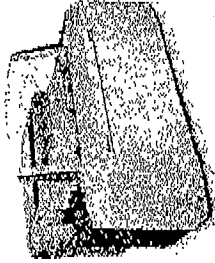


光画像ヘッド



Agfa製 Xcalibur 45™
CTP システム

プレート毎の画素数 - 5×10^9
書込みスピード - 10^8 画素/秒
2400 dpi



協力: Agfa 社



図5-B

2004/3/16

Cypress Semiconductor & Silicon Light Machines Confidential

Plate Rite Ultima



SCREEN
TECHNOLOGY

E. Tamayaki, Y. Hashimoto and O. Leung, See presentation and the corresponding SPIE proceeding (2004)

