アプリケーション_DO.002: 矩形エリア(トップハット)に拡散照明する 回折光学素子の最適化

本書は、矩形トップハットを発生する回折型ディフューザーの設計を 解説するものです。

キーワード: Diffractive Optics、Diffractive Optical Elements、回折光学素子、Diffusers、ディフューザー、 拡散版、Top Hat

必須ツールボックス: Diffractive Optics Toolbox

関連アプリケーション: DO.001;DO.003 関連チュートリアル: 144.01







角度スペクトラム設定



照明ビーム・パラメーター



波長: 632.8 nm ビーム径 (1/e²): 700 µm



出射フィールドのパラメーター



直径:1° 分解能:≤0.03° 効率:>70% 迷光:<20%

Session Editorの設定

Detector System	Design Solutions Execution Extras Window Help
- 300	New IFTA Optimization
P	Beam Splitter Design 🔸 🔤 🥵
	Diffuser Design
	Beam Shaper Design Pattern Generating Diffuser
	Signal Region 🔸

- ライン、サークル、あるいは矩形の トップハットなどは、Session Editor の"Regular Shape Diffuser"を用いて 設定する事が可能です
 - メニューからDesign → Diffuser Design → Regular Shape Diffuserをクリックし 新たにSession Editorを起動します







 "Next"ボタンを押し、光源の 仕様設定から始めます





 ・ 左図のページにて、照明 ビームの直径、発散角度 などの設定を行います

- 1/e² Waist Diameterおよび Divergence Full Angleを 選択します
- Nextボタンをクリックします





- 左図のページでは、光源の 設定が可能です
- VIRTUALLAB[™]では、常に ガウシアンビームを想定して おります
- 波長: 632.8 nm
- ウエストの仕様を 700 µm x 700 µmと入力します
- NEXTボタンをクリックします

光学系の仕様



- 左図のページでは、光学系の 基本設定を行います
- Session editorでは、光学系の 設定に、1f/2f セットアップ、 近軸無限遠、角度分布を サポートしております
- 1f/2f セットアップまたは 近軸無限遠をご希望の場合は 次のページで、さらに仕様を 入力する必要があります
- Angular spectrum(角度分布)を 選択肢、"Next"をクリックします

光学系の仕様

)) 8: Regular Shape Diffuser	Session Editor*	_ • •
Optical Setup		
The parameters of the optica	I setup selected on the page before can be specified below.	
Optical Setup Parameters		
Surrounding Medium:	Standard Air in Homogeneous Medium 🛛 🖉 Load	🖊 Edit 🛛 🔍 View
	Diffractive Optical Element	
	< Back Next >	Finish

- Surrounding Medium(包括媒体) にStandard Airとします
- "Next"ボタンを押します

出射フィールドの仕様

8: Regular Shape Diffuser Se	ssion Editor*	
esired Output Field Paramete	XS	
Description for the new page.		
A regular shape diffuser creates optimize diffuser for generation Top Hat can be specified below	a diffuser intensity distribution with rectangular or ellipti of two dimensional or one dimensional Top Hats. The sl /.	cal shape. VirtualLab™ can nape and the dimension of the
	Dimension	
	2D Top Hat	
	Diffuse Line	
	Top Hat Shape	
	Elliptical Shape	
	 Rectangular Shape 	
	< Back Next >	Finish
		つづく

- Session editorにて、トップハット またはラインを発生する ディフューザーの設計が 可能です
- 2D Top Hatを選択します
- Rectangular Shapeを選択します
- Nextボタンを押します

出射フィールドの仕様

o. Reg	jular Shape Diffuser Sessio	n Editor*			
esired	Output Field Parameters				
Paramet	ters of the diffuse light patte	rn can be specified	below.		
Top Hat aser be s recon Addition desired	diameter and resolution can earn diameter (1/e ²) in the tai nmend to use the 'Optimize ally an offset of the diffraction orders can be limited. <u>More</u>	n be specified below rget plane should b Resolution' button t on orders can be sp 	w. In order to get an op e approximately two ti o adapt the resolution pecified and the intens	otimal resolved speckle patte mes the resolution of the diffu on the beam diameter. ity of the higher orders relativ	rn the user. It ve to the
	Top Hat Diameter	1°	1°		
	Resolution	0.03°	0.03°	Optimize Resolution	
	Off-Axis Design				
	Offset	0°	0°	Suggest Optional Offset	
	Stray Light Intensity Limit Intensity of Stra Maximum Relative Stray	y Light Light Intensity	15 %		

つづく

- トップハットのサイズを 1° x 1° とします
- トップハットの分解能は 0.03°×0.03°とします
- 迷光の最大値を "20% Limit Intensity of Stray Light" と します。 "Maximum Relative Stray Intensityを、15%と します

出射フィールドの仕様





- 回折型ディフューザーは 一般的に全光束を偏角できる 訳ではありません
- 迷光は回折角度よりも大きく 偏角されます
- 迷光を考慮するために、
 ターゲット面に十分な
 大きさが必要となります
- ターゲット面における、出射 フィールドのサイズを左図の ダイアグラムで確認できます。 マニュアルモードを選択すると 任意のサイズにする事が可能 です。

メリットファンクションの選定

🕦 8: Regular Shape Diffuser Session Editor*	- 0 💌
Merit Function	
Selection of merit functions for optimization and future analyzis steps.	
This page allows the selection of merit functions that can be logged during the optimization ar in the resulting spread sheet (light path) for further analysis steps. The logging of merit functions during the optimization of diffractive optical elements takes add computational time and is not required. Use the option "Disable Logging of Merit Functions du Optimization" to save computational time. Learn more about merit functions in the Iterative Fourier Transform Algorithm (IFTA).	id will be used litional ring
Merit Functions	
 Conversion Efficiency Window Efficiency Signal to Noise Ratio (SNR) Uniformity Error Maximum Relative Intensity of Stray Light Relative Zeroth Order Intensity Zeroth Order Efficiency 	
Disable Logging of Merit Functions during Optimization.	
< Back Next > F	inish
	つづく

- 左図のダイアグラムでは メリットファンクションの選定が 可能です
- 最適化作業中のメリット ファンクションのログ情報を 表示するか否かを選択 できます。表示しない方が 演算スピードが上がります。

ディフューザー・アパチャーの仕様

ffractive (Shape Diffuser Session Edito Dptical Element Aperture Para	r* ameters		
iameter an	d shaper of the aperture of the	diffractive optical element ca	an be specified below.	
The diffract or elliptical s addition. Ar avoid energ	ive optical element used for the shape. The shape must be selec aperture diameter of at least 21 gy losses and diffraction at the ap	creation of the desired output sted below. The aperture dian times the waist diameter of the perture of the diffractive optic	t intensity distribution can h neter diameter must be spe e input beam is recommend al element.	nave a rectangu cified below in Jed in order to
	Aperture Size and Shape	Restression	Elliptical	
	Aperture Diameter	Automatic Setting	Manual Setting	
	Aperture Diameter	1.4 mm	1.4 mm	
			Neuta	ninh

- ディフューザーの"Aperture Shape"を"Rectangular"とし、 "Aperture Di meter"を "Automatic"に設定します
- Aperture diameter(開口径)は 入射ビーム径(1/e²)の2~
 3倍の大きさにします

DOE Transmission(光学機能等価面)の仕様

8: Regular Shap	e Diffuser Session Editor*	
ffractive Optic	al Element Transmission Pa	arameters
his page enables ontinuous or may	the optimization of amplitud contain discrete levels.	le-only, phase-only and complex transmissions. Transmission ca
Three different ty transmissions. T Additionally trans levels. <u>More</u>	rpes of transmission can be of the transmission type that sh smissions may have a contin	optimized. That are amplitude-only, phase-only and complex rould be used during the optimization must be selected below. nuous amplitude or phase modulation or may contain discrete
	Transmission Parameters	
	Transmission Type	Phase-Only Transmission
		✓ Transmission Contains Discrete Levels
	Number of Phase Level	2
		< Back Next > Finish
		つづく

- VIRTUALLAB[™] にて ディフューザーの光学機能 等価面の最適化を行います
- 次に、ステップ構造の高さを 計算します。詳細は tutorial DO.8 をご参照下さい。
- "Phase-Only Transmission"を 選択します
- "Transmission Contains Discrete Levels"にチェックを 入れます
- "Number of Phase Levels"を "2"にします

DOE 光学機能等価面の仕様

- 0 🔀

つづく

8: Regular Shape Diffuser Session Editor*

Diffractive Optical Element Period, Pixel Size and Number of Pixels

The required period diameter, pixel size and number of pixel per period are displayed on this page.

VirtualLab calculates from the specifications of the desired output intensity period, pixel size and number of pixels of the diffractive optical element. In order to take into account fabrication constraints a minimum pixel size and pixel size increment can be defined. <u>More ...</u>

10	
10 nm	
1 µm	
9.08 µm	9.08 µm
f Rectangular Pixels	
1.2076 mm	1.2076 mm
133	133
< Back	Next >
	1 μm 9.08 μm f Rectangular Pixels 1.2076 mm 133 <

- ピクセルサイズと回折周期は 自動的に計算されます
- "Pixel Size Increment"を 10 nm、"Minimum Pixel Size" を1 μmとしました
- ・ "Pixel Size Increment"は 成形工程における、加工の ラテラル方向のステップです
- 経験豊富なユーザーは、Pixel Sizeなどを、実際に用いる 加工装置に合わせて設定 して下さい

パラメーターの総括

esion Parameters Summary						
n overview of the most im	portant design parame	eters can be seer	below.			
Dutput Field Parameters						
Top Hat Ø - Desired :	1°	1°	Achieved :	0.99053°	0.99053	
Resolution - Desired :	0.03°	0.03°	Achieved :	0.030015°	0.030015	
Offset :	0°	0°				
Maximum Relative Stray L	ight Intensity:	15 %	Top Hat Type	: 2D Rectangular	Top Hat	
Optical Setup Parameters						
Dptical Setup : Ar Surrounding Material : St	ngular Spectrum andard Air					
Diffractive Optical Element	/ Transmission Parame	eters				
Pixel Size :	9.08 µm	9.08 µm				
Number of Pixels :	133	133	Transmission	Type: Phase	e-Only	
Period :	1.2076 mm	1.2076 mm	Contains Dis	crete Levels Yes	-	
Aperture Diameter :	1.4 mm	1.4 mm	Number of He	eight Levels : 2		
Aperture Shape :	Rectangular					

つづく

- 左図のダイアグラムは、
 ユーザーによる、あるいは
 自動的に設定された、重要
 パラメーターを総括した
 ものです
- 最も重要なのは、トップハット 形状の大きさと、分解能の 設定値と、計算結果です
 - "pixel size increment"と "minimum pixel size"により 設定値通りにならないため、 確認が必要です



8: Regular S	ihape Diffuser Session Editor* 🛛 🔲 🔀	
	 Next Design Steps: 1. Click the 'Start' button on the 'Design' page of the Optimization Document to run the optimization of the diffractive optical element. 2. The optimization will start with a random diffractive optical element transmission. The optimization result will depend on the initial random transmission. Repeat the optimization with different initial random transmissions and keep the best result. 3. The 'Goal Efficiency' value on the 'Specification' page of the Optimization Document can be used to find a compromize between efficiency and uniformity error. Larger values will result in higher efficiency and lower uniformity. Change the goal efficiency value and go back to 1. 4. Try to increase the diameter factor of the output field to increase the area used for stray light. This will help often to reach lower uniformity errors and a lower maximum relative stray light intensity. 5. After end of the optimization the resulting optical system can be further analyzed using the created light path document. 	
	<back next=""> Finish</back>	

- "session editor"の最終頁は 左図のダイアグラムで、次の 設計工程への提言を記して おります
- "Finish"ボタンを押す事により 最適化を行う"Optimization
 Document"と、設定した回折型 ディフューザーを含む光学系の シミュレーションを行う"Light
 Path Diagram"が作成されます

ディフューザーの最適化

11: Iterative Fourier Transformation Algor	ithm Optimization	I.	
Specification Design Analysis			
Design Method Iterative Fourier Transform A	Ngorithm Approach	Transmission Set	Show
Design Steps	Number of Iteration	5	
Generate Initial Transmission		Method Backw. Prop. Signal Field (Rando	om Phase) 🔻
V Signal Phase Synthesis	25	Soft Introduction of Transmission Constrain	int
SNR Optimization for Phase-Only Transmission	50	Omit Final Transmission Projection Soft Introduction of Transmission Constrai	int
Soft Quantization 100		Create Transmission Animation	Options
SNR Optimization for Quantized Transmission	5000	Create Output Field Animation	Options
Logging		Show Final Transmission and Output Field	•
#lt (total) #lt (step)			Configure
			Show Diagram
			Export Table
			Preserve Table
Progress in current design step			Start Design

- "Iterative Fourier Transformation Algorithm Document"を開きます
- を図のダイアグラムは"Design"タブ です。 最適化の反復回数を設定 します。
- "Start Design"ボタンを押して、 最適化を開始します
- "SNR Optimization for Quantized Transmission"は、最適化が進まない 場合、自動的に止まります。
 設定した反復回数に至らない場合も あります。

ディフューザーの最適化

lterative Founer Transform	Algorithm Approach	Iransmission Set Show
esign Steps	Number of Iterations	
Generate Initial Transmission		Method Backw. Prop. Signal Field (Random Phase) 💌
✓ Signal Phase Synthesis	25	Soft Introduction of Transmission Constraint
SNR Optimization for Phase-Only Transmission	50	Omit Final Transmission Projection Soft Introduction of Transmission Constraint
Soft Quantization	100	Create Transmission Animation Options
SNR Optimization for Quantized Transmission	5000	Create Output Field Animation Options Show Final Transmission and Output Field
645 470 646 471 647 472 648 473 649 474 650 475 651 476		Show Diagram Export Table Table Stop
	-	Stop Immediately Stop after current Iteration

- 最適化の作業は、ピクセル数や 反復回数により、時間が掛かる事が あります
- 最適化作業は、"Stop"ボタンにより 中断する事が可能です
- ダイアログ下部のウィンドウに 最適化の進行状況を確認する事が 可能です
- 現在進行中の最適化ステップは グレー化して示されます
- 全最適化工程における進行状況は ダイアログ最下部のバー表示に 示されます

ディフューザーの最適化

)) 11: Iterative Fourier Trans Specification Design Analy	formation Algorit	thm Optimization*	*					
Design Method Iterative Fourier Transform Algorithm Approach ▼ Transmission Set Show								
Design Steps Number of Iterations								
Generate Initial Trans	mission		Method Backw. Prop. Signal Field (Random Phase) 🔻					
Signal Phase Synthes	is	25	Soft Introduction of Transmission Constraint					
SNR Optimization for Phase-Only		50	Omit Final Transmission Projection					
			Soft Introduction of Transmission Constraint					
Soft Quantization		100	Create Transmission Animation Options					
SNR Optimization for Quantized		5000	Create Output Field Animation Options					
			Show Final Transmission and Output Field					
#It (total) #It (step)			▲ Configure					
1210 1040								
1210 1044			Show					
1221 1046			Didgitiin					
1222 1047			Export					
1223 1048			Table					
1224 1049								
1225 1050			Preserve					
1226 1051								
Progress in current design a	step		Start Design					

最適化作業終了後に、"Show"ボタン にて、ディフューザー・トランスミッション (光学機能等価面)の確認が可能です

"Set"ボタンでは、最適化されたものと 別の光学機能等価面を定義する 事が可能です。新たに定義された 光学機能等価面を最適化作業の スタートポイントとして、新たに 最適化作業を行い、更なる評価が 可能となります。



最適化されたトランスミッション



- 最適化されたトランスミッションの "Data View"。メニュー上のツールバー の Ø ボタンを押して位相分布表示を します。
- 回折型ディフューザーの最適化が ランダム位相から開始されるため、 結果は最低化工程毎で変わります



11: Iterative For the Transformation Algorithm Optimization*	
Specification Design Analysis	
Window Efficiency [78]	A Show
Conversion Efficiency [%]	Output Field
Signal-to-Noise Ratio / dB	=
✓ Uniformity Error [%]	Show
Zeroth Order Intensity [%]	Light Path
Zeroth Order Efficiency [%]	
Maximum Relative Intensity of Stray Light [%]	Ŧ
Scale Errors for Phase-Only Transmissions	
Impose Linear Scale Error by Scale Factor Impose Binary Mask Scale Mask #1 (pi) Errors by Given Scale Factors Mask #2 (pi/2)	1 Mask #3 (pi/4) 1 1 Mask #4 (pi/8) 1
Scan Scale Error Range	
From 0	.9 Number of Steps 11
Scale Factor To 1	.1 Create Output Field Animation
Linear WinEff [%] ConvEff [%] SNR [dB] UnifErr [%] IOsig [%]	Options
	Recalculate
	Show
	Diagram
	Export
1	Table

最適化終了後に、"Analysis"タブを 開き、メリットファンクションを計算 します



システム評価

11: Iterative Fourier Transformation Algorithm Optimiz	zation* 🗖 🗉 💌
Specification Design Analysis	
Window Efficiency [%] Conversion Efficiency [%] Signal-to-Noise Ratio / dB Uniformity Error [%] Zeroth Order Intensity [%] Zeroth Order Efficiency [%] Waximum Relative Intensity of Stray Linht [%]	Show Recalculate Cutput Field Show Light Path
Scale Errors for Phase-Only Transmissions Impose Linear Scale Error by Scale Factor Impose Binary Mask Scale Mask #1 (pi) Errors by Given Scale Factors Mask #2 (pi/2)	1 1 Mask #3 (pi/4) 1 Mask #4 (pi/8) 1
Scan Scale Error Range From Modified Vinear Scale Factor To Linear WinEff [%] ConvEff [%] SNR [dB] UnifErr [0.9 Number of Steps 11 1.1 Create Output Field 1.1 Iosig [%] Options
	Recalculate Show Diagram Export Table

- 出射フィールドにおける、評価を 希望するメリットファンクションを 選定します
- "Show Output Field"ボタンのチェックを 外します。 詳細のシミュレーションは Light Path Diagramで行います。
- "Recalculate"ボタンを押すと、選定 したメリットファンクションの値が 表示されます



11: Iterative Fourier Transformation Algorithm Opt	timization*						
Specification Design Analysis							
Window Efficiency [%] Conversion Efficiency [%] Signal-to-Noise Ratio / dB Uniformity Error [%] Zeroth Order Intensity [%]	73.620861399452323 16.494892051481003 Show Light Path						
Zeroth Order Efficiency [%] Maximum Relative Intensity of Strav Light [%]	21 434318711479406						
Scale Errors for Phase-Only Transmissions							
Impose Linear Scale Error by Scale Factor Impose Binary Mask Scale Mask #1 (pi) Errors by Given Scale Factors Mask #2 (pi/2)	Image: Mask #3 (pi/4) Image: Ima						
Scan Scale Error Range Modified Scale Factor To	0.9 Number of Steps 11 1.1 Create Output Field Animation 11						
Linear ConvEff [%] UnifErr [%] StrayLight [%]	Options Recalculate Show Diagram Export Table						

- 左図に赤枠でマークした部分に メリットファンクションが表示されます
- 最適化はランダム位相を初期値としており、最適化毎に結果は異なります

 最適化作業は複数回行い、メリット ファンクションを確認し、ベストな結果を 得られるトランスミッションを保存 します

Light Path



10	🚺 5: Light Path Editor (Light Path Diagram #5)								
	•	Path	tors	Analyzers					
	Start Element				Target Element Linkage				
	Index	Туре	Channel	Medium	Index	Туре	Propagation Method	On/Off	
	0	Gaussian Wave	-	Standard Air in Homogen	1	Aperture	Combined SPW/Fresnel Operator	On	
	1	Aperture	Т	Standard Air in Homogen	2	Stored Function	Combined SPW/Fresnel Operator	On	
	2	Stored Function	Т	Standard Air in Homogen					
•									
Q	Q Tools ☆ Settings Simulation Type : Field Tracing								





トップハットの強度分布



ディフューザー・トランスミッションの 位相分布



 VIRTUALLAB[™] にて拡散型のラインやトップハット分布を発生 する回折光学素子の設計をアシストします。

 アシスト機能により、回折光学素子の設計及び成形の経験が 浅いユーザーでも、LightTrans社のノウハウが含まれた工程 にて、設計が可能です。