

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 24 年 5 月 31 日現在

機関番号：12612

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2009～2011

課題番号：21360028

研究課題名（和文）偏光コヒーレンスシンセサイザー：
相互ストークス場の特異光学と光計測への応用研究課題名（英文）Polarization coherence synthesizer: Singular optics of generalized
Stokes fields with application to optical metrology

研究代表者

武田 光夫（TAKEDA MITSUO）

電気通信大学・大学院情報理工学研究科・教授

研究者番号：00114926

研究成果の概要（和文）：

偏光コヒーレンスシンセサイザーの基本原則を提案し、統計的な3次元ベクトル光波動場の偏光と空間コヒーレンスを同時に制御する基盤技術を確立した。

具体的には、コヒーレンス偏光行列を制御するベクトル場コヒーレンスホログラフィーの原理を考案し実証実験に成功した。さらに、所望の物体像を偏光成分間の相関関数をあらかず一般化ストークスパラメータの3次元空間分布として再生できるストークスホログラフィーの原理を提案し、実験により有効性確認した。

研究成果の概要（英文）：

A basic principle of a polarization-coherence synthesizer was proposed, and foundation was laid for the technique that can control both polarization and spatial coherence of statistical 3-D vectorial optical fields simultaneously. A novel scheme of coherence holography was devised for controlling the elements of a polarization-coherence matrix of a vectorial optical field. A technique, called Stokes holography, that reconstructs a desired image as a 3-D distribution of generalized Stokes parameters was proposed and experimentally demonstrated.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	5,400,000	1,620,000	7,020,000
2010年度	5,000,000	1,500,000	6,500,000
2011年度	3,000,000	900,000	3,900,000
総計	13,400,000	4,020,000	17,420,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：応用物理学・工学基礎 応用光学・量子光工学

キーワード：偏光，コヒーレンス，ホログラフィー，特異光学

1. 研究開始当初の背景

これまで独立に発展してきた偏光理論とスカラー場のコヒーレンス理論の統一化が理

論光学の分野で進んでいる。医学応用分野でも従来のコヒーレンスゲートによる断層映像の切り出し機能に加えて偏光状態の観測から細胞の複屈折映像を得るなど、コヒーレ

ンスと偏光を組み合わせた新技術が生まれつつある。基礎光科学においても軌道光子角運動量をもつ光渦場の位相特異点の他に、スピン光子角運動量と関連した偏光特異点や、我々自身がその存在を実験的に初めて実証したコヒーレンス渦など偏光やコヒーレンスに関する新しい特異光学やトポロジカル光学が台頭している。このような背景の下でベクトル光波動場のコヒーレンスと偏光を同時に制御する技術の必要性が高まってきた。

2. 研究の目的

「偏光とコヒーレンスの技術的融合」の実現を目的として以下の目標の実現を目指す。

《基礎技術》任意の2点間の相互偏光状態と空間コヒーレンスを同時に制御する相互ストークス場の制御原理は知られていないので原理を提案し、シンセサイザーを設計試作して実証実験と性能評価をおこなう。所望の偏光状態とコヒーレンス状態を自由に3次元空間配置することができる技術の確立を目指す。

《基礎光科学》空間の1点のみの偏光状態を表す従来の偏光理論ではストークスパラメータは実数値をとるが、空間の2点間の相互偏光状態を表す相互ストークス場は一般に複素値をとるので単純にポアンカレ球で表現することができない。このような相互ストークス場の特異光学の新分野の基本問題に解を与え、偏光とコヒーレンスを融合した特異光学の新分野を創生する。

3. 研究の方法

ベクトル光波の偏光と統合した相互ストークス場の制御技術を実現するための手がかとなる Korotkova-Wolf 論文(O. Korotkova, E. Wolf, Opt. Lett. 2005)を発展させて偏光とコヒーレンスの同時制御に直接応用でき高い実用性のある「相互ストークス場の一般化された van Cittert-Zernike の定理」を導出する。

【新概念の説明】: 相互Stokes場の一般化された van Cittert-Zernike定理

スカラー場の相互強度 $J(r_1, r_2)$ とインコヒーレント光源強度 $I(r)$ 間に成立する回折場の関係式と同じ数学的形式の関係式がベクトル場の相互ストークスベクトル $S(r_1, r_2)$ とインコヒーレント光源のストークスパラメータ $S(r)$ 間に成立する。

$$\begin{bmatrix} S_0(r_1, r_2) \\ S_1(r_1, r_2) \\ S_2(r_1, r_2) \\ S_3(r_1, r_2) \end{bmatrix} = \int_S \begin{bmatrix} S_0(\hat{r}) \\ S_1(\hat{r}) \\ S_2(\hat{r}) \\ S_3(\hat{r}) \end{bmatrix} \frac{\exp[ik|r_2 - \hat{r}|] \exp[-ik|r_1 - \hat{r}|]}{|r_2 - \hat{r}| |r_1 - \hat{r}|} d^3\hat{r}$$

偏光状態を空間変調したインコヒーレント光源

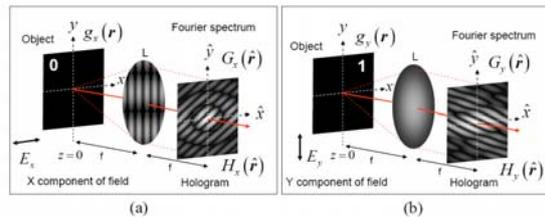
この定理を基礎原理として、インコヒーレン

スな光源の偏光状態を空間変調することにより3次元空間の任意の2点間の相互ストークス場を制御する。相互ストークス場の4成分のうち $S_0(r_1, r_2)$ と $S_0(\hat{r})$ 成分はそれぞれスカラー場のコヒーレンス関数(相互強度) $J(r_1, r_2)$ と光源強度 $I(\hat{r})$ に対応しており、 $S_0(r_1, r_2)$ の制御については既にインコヒーレント光源強度分布の空間変調で実現するコヒーレンスホログラフィー技術を我々は確立しているののでそれに光源の偏光状態の分布を空間変調する技術を追加する方法で実現する。

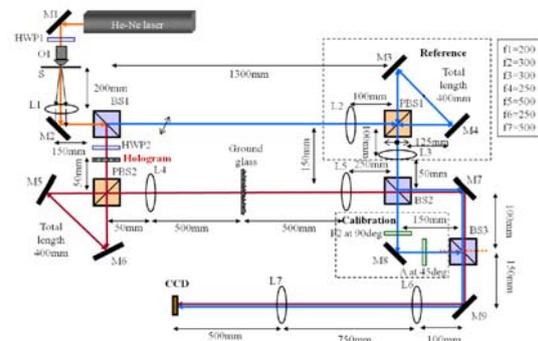
1点単独のストークスパラメータ $S(r)$ は実数であるが、相互ストークス場 $S(r_1, r_2)$ は複素関数になるという事実に着目して、その各成分 $S_0(r_1, r_2), S_1(r_1, r_2), S_2(r_1, r_2), S_3(r_1, r_2)$ に対して独立に4種類の位相特異点やストークス渦(Stokes Vortex)の概念を新たに導入する。そして、シンセサイザーを用いてストークス渦を発生させて、その存在を実験的に実証する。

4. 研究成果

【ベクトル場コヒーレンスホログラフィーによる偏光コヒーレンス行列の制御】

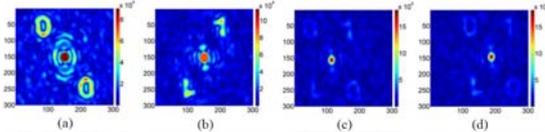


スカラー場のコヒーレンスホログラフィー技術を偏光とコヒーレンスを同時に制御するベクトル場のコヒーレンスホログラフィーに発展させ偏光コヒーレンス行列の制御の実証実験をおこなった。図のようにxとy方向の偏光で照明した文字物体0と1をホ



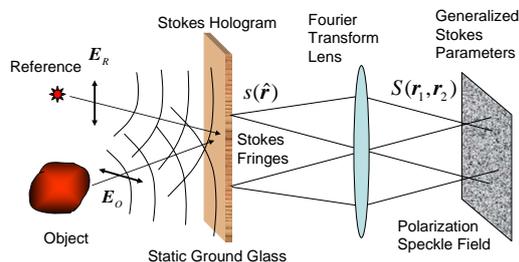
ログラムに記録した。下図に示す光学系の左端にあるように2つのホログラムを斜め45度の直線偏光で照明した。PBS2の偏光Sagnac干渉計とレンズL4により、x偏光とy偏光の2つのホログラムの像を静止したす

りガラス上の同じ位置に重ね合わせるようにして結像して x 偏光成分と y 偏光成分からなる独立した 2 つのコヒーレンスホログラムを形成した。図の右上部にある偏光 Sagnac 干渉計で発生させた x 偏光と y 偏光の 2 つの異なるティルト角をもつ参照光とすりガラスからの散乱光を各偏光成分ごとに干渉させ、異なる空間キャリア周波数の干渉縞を記録し、空間周波数多重化フーリエ縞解析をおこなうことにより、ベクトル波動場の各偏光成分を検出した。それらの各偏光成分の空間平均から偏光コヒーレンス行列を



の各要素を求めた。上図の (a) と (b) は $W_{xx}(\Delta r) = \langle E_x^*(r)E_x(r+\Delta r) \rangle$ $W_{yy}(\Delta r) = \langle E_y^*(r)E_y(r+\Delta r) \rangle$ を表し、(c) と (d) は $W_{xy}(\Delta r) = \langle E_x^*(r)E_y(r+\Delta r) \rangle$ と $W_{yx}(\Delta r) = \langle E_y^*(r)E_x(r+\Delta r) \rangle$ を表している。このよう x と y の偏光成分に対して同時に所望の偏光コヒーレンス行列をもつベクトル波動場を生成することができた。

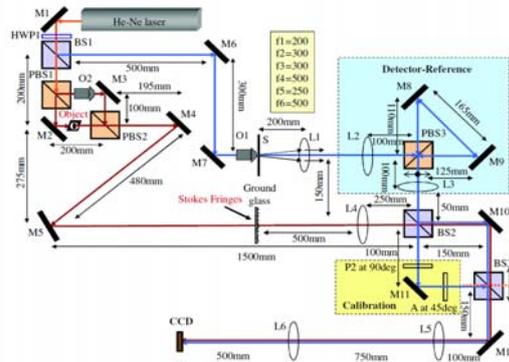
【Stokes ホログラフイーによる相互 Stokes 場の一般化された Stokes パラメータの制御】



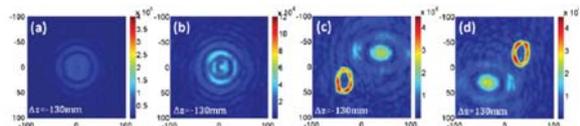
上図は Stokes ホログラフイーの概念図である。レンズレスフーリエ変換ホログラフイーの配置で物体光と偏光状態の異なる参照光を重ねて干渉させる。図の例のように物体光と参照光の偏光が互いに直交する場合は強度の干渉縞は生じないが偏光状態を表す Stokes パラメータの干渉縞 (Stokes 縞) が Stokes ホログラムを形成する。それを記録する代わりに静止したすりガラスで拡散させて、散乱光をレンズでフーリエ変換すると偏光状態が空間的にランダムに変化する偏光スペckル場が生じる。Stokes パラメータの van Cittert-Zernike の定理によりストークス場の相関関数 (一般化された Stokes パラメータ) はホログラム面上の Stokes パラメータのフーリエ変換で与えられるので、物体像をストークス場の相関関数として再生することができる。

右欄に実験光学系の概要を示す。偏光ビームスプリッタ PBS1 により分離された互い直

交した偏光成分が物体光と参照光を形成しすりガラス面上に Stokes ホログラムを形成する。偏光干渉計の部分はベクトルコヒーレンスホログラフイーの実験系と基本的には同じ構成である。文字 O を x 偏光の物体とし



て使い、y 偏光の参照光で記録した。下図の (a) (b) (c) (d) はそれぞれ $\Delta r = r_2 - r_1$ としたときの一般化された Stokes パラメータ $S_0(\Delta r)$, $S_1(\Delta r)$, $S_2(\Delta r)$, $S_3(\Delta r)$ を示したものである。



$S_2(\Delta r)$ と $S_3(\Delta r)$ に所望の物体像 O が再生されていることがわかり、Stokes パラメータが制御できることを示している。

以上の実験により、本研究で提案したベクトル場コヒーレンスホログラフイーと Stokes ホログラフイーの技術により、偏光とコヒーレンスの状態を表す偏光コヒーレンス行列と一般化された Stokes パラメータの両方を制御することができることを実証した。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕 (計 9 件)

- ① R. K. Singh, D. N. Naik, H. Itou, Y. Miyamoto, and M. Takeda, "Stokes holography," Opt. Lett., Vol. 37, No. 5, pp.966-968 (2012,3). 査読有り <http://dx.doi.org/10.1364/OL.37.000966>
- ② R. K. Singh, D. N. Naik, H. Itou, Y. Miyamoto, and M. Takeda, "Vectorial coherence holography," Opt. Express, Vol. 19, No.12, pp.11558-11567 (2011.6). 査読有り <http://dx.doi.org/10.1364/OE.19.011558>
- ③ D. N. Naik, R. K. Singh, T. Ezawa, Y. Miyamoto, and M. Takeda, "Photon correlation holography," Opt. Express, Vol. 19, No. 2, pp.1408-1421 (2011,1). 査読あり <http://dx.doi.org/10.1364/OE.19.001408>
- ④ S. Zhang, M. Takeda, W. Wang, "Statistics of

spatial derivatives of Stokes parameters for isotropic random polarization field," J. Opt. Soc. Am. A, Vol. 27, pp.1999-2003 (2010,9). 査読あり

<http://dx.doi.org/10.1364/JOSAA.27.001999>

⑤ D. Naik, T. Ezawa, Y. Miyamoto, and M. Takeda, "Real-time coherence holography," Opt. Express, Vol.18, No.13, pp.13782-13787 (2010,6). 査読あり

<http://dx.doi.org/10.1364/OE.18.013782>

⑥ D. Naik, T. Ezawa, Y. Miyamoto, and M. Takeda, "Phase-shift coherence holography," Opt. Lett., Vol. 35, No.5, pp.1728-1730 (2010,5). 査読あり

<http://dx.doi.org/10.1364/OL.35.001728>

⑦ W. Wang and M. Takeda, "Conservation laws in quantum-correlation-function dynamics," Advances in Optical Technologies, Vol. 2010, Article ID 171254, 1-8 (2010,3). 査読あり

doi:10.1155/2010/171254

⑧ W. Wang, R. Ishijima, A. Matsuda, S. G. Hanson, M. Takeda, "Pseudo-Stokes Vector Correlation From Complex Signal Representation of a Speckle Pattern and Its Applications to Micro-Displacement Measurement," Strain, Vol. 46, No.1, 12-18 (2010,2). 査読あり

doi: 10.1111/j.1475-1305.2009.00672.x

⑨ D. N. Naik, T. Ezawa, Y. Miyamoto, and M. Takeda, "3-D coherence holography using a modified Sagnac radial shearing interferometer with geometric phase shift," Opt. Express, Vol. 17, No. 13, 10633-10641 (2009,6). 査読あり

<http://dx.doi.org/10.1364/OE.17.010633>

[学会発表] (計 40 件)

(1) D. N. Naik, R. K. Singh, T. Ezawa, Y. Miyamoto, and M. Takeda, "Photon correlation holography," 2011 Taiwan-Japan Bilateral Symposium in Nano/Bio-photonics (Tainan, Taiwan), pp.7-8 (2011,11). (招待講演) 査読なし

(2) D. N. Naik, R. K. Singh, T. Ezawa, Y. Miyamoto, and M. Takeda, "Intensity-correlation holography: a review," OIE'11, The Ninth Japan-Finland Joint Symposium on Optics in Engineering (Turku, Finland), pp.62-63 (2011,9). 査読あり

(3) M. Takeda, W. Wang, D. N. Naik, "Coherence holography and photon- correlation holography: Marriage between holography and statistical optics," Tribute to Joseph W. Goodman (San Diego, USA), Proc. SPIE Vol.8122, pp.822207-1-5 (2011,8). (招待講演) 査読なし

(4) M. Takeda, "Coherence holography: Principle and Applications," SPIE Optical Metrology (Munich, Germany), Program, p.5

(2011, 5). (招待講演: Plenary Talk) 査読なし

(5) R. K. Singh, D. N. Naik, H. Itou, Y. Miyamoto, and M. Takeda, "Stokes holography for recording and reconstructing objects using polarization fringes," Optical Measurement Systems for Industrial Inspection VII (Munich, Germany), Proc. SPIE Vol. 8082 pp.808208-1-10 (2011,5). 査読あり

(6) D. N. Naik, R. K. Singh, H. Itou, Y. Miyamoto, and M. Takeda, "State of polarization mapping using a calibrated interferometric polarimeter," Optical Measurement Systems for Industrial Inspection VII (Munich, Germany), Proc. SPIE Vol. 8082 pp.80821T-1-7 (2011,5). 査読あり

(7) D. N. Naik, R. K. Singh, T. Ezawa, Y. Miyamoto, and M. Takeda, "Holographic reconstruction using intensity interferometry," OSA Topical Meeting on Digital Holography and Three-Dimensional Imaging (DH), (Tokyo, Japan), paper DWD (2011,5). 査読あり

(8) M. Takeda, "Coherence Holography: A Tutorial Review," OSA Topical Meeting on Digital Holography and Three-Dimensional Imaging (DH), (Tokyo, Japan), paper DTuE2 (2011,5). (招待講演) 査読なし

(9) R. K. Singh, D. Naik, H. Itou, Y. Miyamoto, and M. Takeda, "Holographic control of coherence and polarization of light," OSA Topical Meeting on Digital Holography and Three-Dimensional Imaging (DH), (Tokyo, Japan), paper DTuB2 (2011,5). 査読あり

(10) M. Takeda, W. Wang, D. N. Naik, and Y. Miyamoto, "Coherence Holography: Principle and Applications," Proc. XXXV Symposium of Optical Society of India, International Conference on Contemporary Trends in Optics and Opto Electronics (Thiruvananthapuram, India), pp.8-9, (2011,1). (招待講演) 査読なし

(11) R. K. Singh, D. N. Naik, H. Itou, M. M. Brundavanam, Y. Miyamoto, M. Takeda, "Characterization of scatterers by correlation of Stokes vectors," 日本光学会 Optics and Photonics Japan 2011 講演予稿集, 29aC5, (2011,11,29). 査読なし

(12) M. M. Brundavanam, Y. Miyamoto, R. K. Singh, D. N. Naik, M. Takeda, K. Nakagawa, "Polarization structure near the unfolding point of an optical vortex beam in a birefringent crystal," 日本光学会 Optics and Photonics Japan 2011 講演予稿集, 30aE6, (2011,11,30). 査読なし

(13) D. N. Naik, R. K. Singh, M. M. Brundavanam, Y. Miyamoto, M. Takeda, "Revealing polarization diversity through correlation of intensity detected with a polarization-blind image sensor," 日本光学会

Optics and Photonics Japan 2011 講演予稿集, 30aE7, (2011,11,30). 査読なし

(14) D. N. Naik, R. K. Singh, H. Itou, Y. Miyamoto, and M. Takeda, "Highly Stable Interferometric technique for polarization mapping," Photonics 2010: Tenth International Conference on Fiber Optics and Photonics, (Guwahati, India), Proc. SPIE Vol. 8173, pp.817319-1-8 (2010,12). 査読あり

(15) M. Takeda, W. Wang, and S. G. Hanson, "Polarization speckles and generalized Stokes vector wave: a review," Speckle 2010 (Florianopolis, Brazil), Proc. SPIE, Vol. 7387, 73870V1-7 (2010, 9). (招待講演) 査読なし

(16) D. N. Naik, T. Ezawa, R. K. Singh, Y. Miyamoto, and M. Takeda, "Three-dimensional coherence holography using a commercial projector for display and incoherent illumination of a coherence hologram," Interferometry XV: Techniques and Analysis (San Diego, USA), Proc. SPIE, Vol. 7790, 77900Q1-8 (2010,8). 査読あり

(17) S. Zhang, P. Roulleau, A. Matsuda, M. Takeda, and W. Wang, "Theoretical and experimental investigation of statistics of spatial derivatives of Stokes parameters for polarization speckle," Interferometry XV: Techniques and Analysis (San Diego, USA), Proc. SPIE, Vol. 7790, 77900N1-8 (2010,8). 査読あり

(18) W. Wang, V. Vasil'ev, M. Soskin, and M. Takeda, "Experimental investigation of critical points in optical coherence function," The Nature of Light: Light in Nature III (San Diego, USA), Proc. SPIE, Vol. 7782, 77820A1-7 (2010,8). 査読あり

(19) R. K. Singh, D. N. Naik, H. Itou, Y. Miyamoto, and M. Takeda, "Vortices in generalized Stokes parameters," The Nature of Light: Light in Nature III (San Diego, USA), Proc. SPIE, Vol. 7782, 7782091-7782099 (2010,8). 査読あり

(20) M. Takeda, "Utilizing the coherence properties of light for optical metrology," HoloMet 2010 3rd International Workshop on Perspectives of Optical Imaging and Metrology (Balatonfured, Hungary) Program 1 (2010, 6). (招待講演) 査読なし

(21) D. N. Naik, T. Ezawa, Y. Miyamoto, and M. Takeda, "Coherence holography for real-time object recording and reconstruction," 7th International Conference on Optics-photonics Design and Fabrication (ODF '10), (Yokohama, Japan) Technical Digest pp. 17-18 (2010.4). 査読あり

(22) R. K. Singh, D. Naik, 伊藤仁, 宮本洋子, 武田光夫 「一般化ストークスパラメータの隠れ位相特異点」第7 1回応用物理学会学

術講演会 14a-ZC-5 (2010,9). 査読なし

(23) D. Naik, 江澤崇裕, R. K. Singh, 宮本洋子, 武田光夫 「汎用プロジェクターをコヒーレント光源とする位相シフトコヒーレンスホログラフィー」第7 1回応用物理学会学術講演会 17a-NK-9 (2010,9) 査読なし

(24) 武田光夫 「コヒーレンスホログラフィー: コヒーレンス場を生成・制御する新ホログラフィー技術」第6 1回東工大精密研究所シンポジウム (OFS日本委員会) pp.17-22 (2010.7). (招待講演) 査読なし

(25) 武田光夫, Wei Wang, Steen G. Hanson, 宮本洋子, 「光渦応用計測」レーザー学会学術講演会第30 回年次大会講演予稿集, 199-200 (2010,2,3) (招待講演) 査読なし

(26) D. N. Naik, R. K. Singh, T. Ezawa, Y. Miyamoto, M. Takeda, "Holographic reconstruction using spatial intensity," 日本光学会 Optics and Photonics Japan 2010 講演予稿集, pp.302-303 (2010,11,10). 査読なし

(27) R. K. Singh, D. N. Naik, H. Itou, Y. Miyamoto, M. Takeda, "Polarization vortices in generalized Stokes parameters," 日本光学会 Optics and Photonics Japan 2010 講演予稿集, pp.306-307 (2010,11,10). 査読なし

(28) 伊藤仁, D. N. Naik, R. K. Singh, 宮本洋子, 武田光夫 「サニャック偏光干渉計の校正法と空間光変調器の偏光解析への応用」日本光学会 Optics and Photonics Japan 2010 講演予稿集, 10pP2, pp.620-621 (2010,11,10). 査読なし

(29) 江澤崇裕, D. N. Naik, 宮本洋子, 武田光夫 「自然光を像再生に用いたコヒーレンスホログラフィー」日本光学会 Optics and Photonics Japan 2010 講演予稿集, 10pF6, pp.588-589 (2010,11,10). 査読なし

(30) W. Wang, S. G. Hanson, and M. Takeda, "Vector correlation for polarization speckle and its application to optical metrology," The Ninth International Conference "Correlation Optics 2009" (Chernivtsi, Ukraine), Proc. SPIE Vol.7388 1-9 (2009.9). (招待講演) 査読なし

(31) S. G. Hanson, W. Wang, D. N. Naik, and M. Takeda, "Propagation of the polarization coherence matrix through complex ABCD-optical systems" The Ninth International Conference Correlation Optics 2009 (Chernivtsi, Ukraine) (2009.9). (招待講演) 査読なし

(32) M. Takeda, W. Wang, and D. N. Naik, "Coherence holography: A thought on synthesis and analysis of optical coherence field," 6th International Workshop on Advanced Optical Metrology, Fringe 2009, (Stuttgart, Germany) Springer-Verlag, 14-21 (2009.9). (招待講演) 査読なし

(33) D. N. Naik, T. Ezawa, Y. Miyamoto, and M. Takeda, "Real-time coherence holography," 6th

International Workshop on Advanced Optical Metrology, Fringe 2009, (Stuttgart, Germany) Springer-Verlag, 28-33 (2009.9). 査読あり

(34) M. Takeda, W. Wang, S. G. Hanson, Y. Miyamoto, "Optical Vortex Metrology," The 9th International Symposium on Measurement Technology and Intelligent Instruments, (St. Petersburg, Russia) Proceedings Vol.2, 16-20 (2009,6). (招待講演) 査読なし

(35) D. N. Naik, T. Ezawa, Y. Miyamoto, and M. Takeda, "3-D coherence holography using a modified Sagnac radial shearing interferometer with geometric phase shift," Holography: Advances and Modern Trends, (Prague, Czech) Proc. SPIE, Vol. 7358, 735808 (2009,4). 査読あり

(36) ディネシュ N. ナイク, 江澤崇裕, 宮本洋子, 武田光夫 「記録媒体が不要な実時間コヒーレンスホログラフイー」日本光学会 Optics and Photonics Japan 2009 講演予稿集, 25pF4, (2009,11,25). 査読なし

(37) 江澤崇裕, ディネシュ・N・ナイク, 宮本洋子, 武田光夫 「位相シフト機能をもつ計算機ホログラムを用いたコヒーレンスホログラフイー」日本光学会 Optics and Photonics Japan 2009 講演予稿集, 26aF8, (2009,11,26). 査読なし

(38) 伊藤仁, 佐々木崇, 宮本洋子, 武田光夫 「サニャック偏光干渉計で生成した2つの直交偏光参照波を用いたフーリエ偏光解析」日本光学会 Optics and Photonics Japan 2009 講演予稿集, 26pP10, (2009,11,26). 査読なし

(39) Wei WANG, 張順, Steen G. Hanson, 武田光夫 「Riesz変換により生成された解析信号の微係数の統計的性質と擬似Stokesベクトル相関への応用」日本光学会 Optics and Photonics Japan 2009 講演予稿集, 26pPD1, (2009,11,26). 査読なし

(40) Wei WANG, 張順, Paul ROULLEAU, 松田充弘, 武田光夫 「偏光スペックル場のStokesパラメータの微係数の統計: 理論と実験」日本光学会 Optics and Photonics Japan 2009 講演予稿集, 26pPD3, (2009,11,26). 査読なし

[図書] (計1件)

① W. Wang, S. G. Hanson, and M. Takeda, "Optical vortex metrology," G. Kaufmann Ed., "Advances in Speckle Metrology and Related Techniques, WILEY-VCH Verlag GmbH, (Berlin, Germany) Chap.5. pp.207-238 (2011,2).

[産業財産権]

○出願状況 (計0件)

○取得状況 (計1件)

名称: 位相特異点検出方法, 及び, 位相特異点検出装置, 並びに, プログラム
発明者: 武田光夫, 王煒, 横関友亮, 石島玲華

権利者: 電気通信大学

種類: 特許

番号: 第4820998号

取得年月日: Sep. 16, 2011

国内外の別: 日本

[その他]

なし

6. 研究組織

(1) 研究代表者

武田 光夫 (TAKEDA MITSUO)

電気通信大学・大学院情報理工学研究科・教授

研究者番号: 00114926

(2) 研究分担者

(3) 連携研究者

宮本 洋子 (MIYAMOTO YOKO)

電気通信大学・大学院情報理工学研究科・助教

研究者番号: 50281655