

液晶を用いた電子ホログラフィ立体表示の革新技術

Technological Innovation of Electronic Holography Three-dimensional Displays Using Liquid Crystal

東北大工 ○藤掛 英夫, 石鍋 隆宏, 柴田 陽生

Tohoku Univ., Department of Electronic Engineering,

○Hideo Fujikake, Takahiro Ishinabe, Yosei Shibata

E-mail: hideo.fujikake.e6@tohoku.ac.jp

今後の超スマート社会では、人間を中心にした物理空間と情報空間の融合が求められ、人々の絆を深める視覚空間の共有が重要な課題となる。その基盤技術として、人と情報の距離を狭めるヒューマンインタフェースの開発が不可欠であり、感性に迫る高臨場感ディスプレイが求められる。既存の2次元ディスプレイの解像度が視覚限界に達している昨今、次世代表示分野として奥行きを含む3次元情報を提供できるシステムの開発が急がれている。拡張／仮想現実感用のニアアイディスプレイ(電子ゴーグル・メガネ)でも立体表示が試みられており、様々な方式の中でも空間像再生型の電子ホログラフィは、光回折を生み出す空間光変調素子を用いて、立体像からの光の方向と強度を完全に再現し、眼球に送り届ける。そのため、すべての立体視の要件(両眼視差、焦点調節、眼球輻輳、運動視差)を満たして、視覚的な違和感・疲労を生じず目に優しく、理想的で究極の立体表示と言われるのはそのためである。さらに電子ホログラフィは、ハードウェアの変更なしで空間光変調素子の干渉縞データを書き変えるだけで、立体像の再生位置・距離を制限なく変えられ、直視型のみならずニアアイ用途でも有用である。液晶を用いれば低電圧の印加で光を変調できるが、液晶を用いた空間光変調素子はプロジェクタ用途で主に開発されてきたため、電子ホログラフィ用途の素子設計は今後の課題と言える。そこで我々は、高画質の立体表示を実現するため、液晶空間光変調素子の構造や駆動方法を見直す研究を展開している。

実用的な視野の立体再生像を得るには、液晶素子を高解像度化して大きな角度の回折光を得る必要がある。例えば、現状素子の解像度上限は $4\mu\text{m}$ ピッチ程度であり、 $1\mu\text{m}$ ピッチ駆動となれば 30° の視域角が得られ、物体の認識を担う視覚の有効視野をカバーできるとともに、両眼視を伴うデスクトップ作業環境でも実用的である。そこで我々は、隣接する微小画素からの電界漏れと液晶配向の弾性伝播を抑制するため、画素間に微小な高分子隔壁¹⁾を作製した。さらに、画素の立体構造アスペクトを偏らせることで、隔壁で囲われた液晶領域の弾性歪みを最小化して²⁾、微小画素における液晶の初期配向を安定化させた。これらにより、 $1\mu\text{m}$ ピッチの液晶駆動が初めて可能になった。また、強誘電性液晶³⁾の2値電圧極性駆動や配向処理方向の制御⁴⁾により漏れ電界の影響を抑制することで、同様に $1\mu\text{m}$ ピッチ駆動を実現して、微細なホログラム電極パターン素子の試作により、再生像の高視野角化⁵⁾を確認した。

その一方、電子ホログラフィを実用化するためには、再生像の画質評価と解析による素子改良が不可欠である。そこで、液晶配向と光回折のシミュレーション解析により、入射光の光利用率の高い空間光位相変調素子の構造パラメータ(液晶膜厚の不均一性、画素内の液晶配向の不均一性および駆動電圧の階調数)が、再生像の画質(輝度、解像度、コントラスト比、ノイズレベル)に及ぼす影響を、定量的に評価した⁶⁾。例えば、液晶膜厚のマクロな不均一性は、回折エラーにより解像度やノイズレベルを劣化させ、画素内のミクロな配向不均一性は不必要な回折光の発生で輝度を低下させた。階調数は4階調以下になると、回折エラーに基づきノイズが増えて、解像度の低下が認められた。この現象は、既存の高解像度液晶素子の駆動実験からも確認できた。これらの結果は、素子構造の設計や電圧駆動システムの指導原理となる^{7,8)}。また、視覚上の支障となり実用上の問題となるスペckルノイズ(コヒーレントなレーザー光特有の斑点状の光干渉ムラ)を抑制するため、液晶配向の時空間的熱ゆらぎを増長させた光位相攪乱素子⁹⁾を、空間光変調素子の後に挿入することを提案して、スペckルノイズの削減効果を確認した。

このように我々は、液晶配向解析に基づき空間光変調素子の構造を見直すことで、高画質の立体表示が可能になることを明らかにした。

謝辞 微小高分子隔壁の作製にご協力いただいた大日本印刷に感謝いたします。微小な透明電極形成にご協力いただいたNHK放送技術研究所に感謝いたします。大学の研究室にて素子の試作・評価を遂行した磯前慶友氏、千田一馬氏、山本貴翔氏、矢板正敏氏に感謝いたします。

参考文献

- 1) Y. Isomae et al. J. SID, 27, 251-258 (2019).
- 2) K. Yamamoto, et al. Proc. IDW, LCTp1-2L (2021).
- 3) 藤掛他 日本光学会誌, 27, 11, 668-674 (1998).
- 4) Y. Isomae, et al., JJAP, 59, 040901-1-5 (2020).
- 5) S. Aso, et al., SID Dig., 3-5, 17-20 (2020).
- 6) K. Chida, et al., ITE J. MTA, 8, 202-209 (2020).
- 7) H. Fujikake, et al., LDC2022, LDC10-01 (2022).
- 8) 藤掛他, 映情年会, 企画 2-2 (2022).
- 9) M. Yaita, et al., IEICE Trans, E105-C, 11 (2022)