

平成22年 6月10日現在

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2008～2009

課題番号：20760227

研究課題名（和文） 超高感度光電界センサの原理実証

研究課題名（英文） Study of high-sensitive electrooptic sensor

研究代表者

菅野 敦史 (KANNO ATSUSHI)

独立行政法人情報通信研究機構・新世代ネットワーク研究センター先端 ICT デバイスグループ・専攻研究員

研究者番号：20400707

研究成果の概要（和文）：ナノ光デバイス構造を利用する超高感度光電界センサの検討を行った結果、従来比 1000 倍以上の感度を有する量子井戸型電界吸収効果光センサの製作可能性を得た。あわせて量子ドット構造を利用する光電界センサ素子の試作も行った。他方、光電界計測技術を応用し、超高周波電界の瞬時可視化および進行電磁界の可視化に世界で初めて成功した。

研究成果の概要（英文）：Study of electro-optic characteristics of quantum structure shows possibility for realization of a high-sensitive electric-field sensor. Moreover, I demonstrated electric-field visualization with novel electro-optic techniques.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	2,700,000	810,000	3,510,000
2009年度	700,000	210,000	910,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：電気電子工学・電子デバイス・電子機器

キーワード：マイクロ波・ミリ波、ナノ光デバイス

1. 研究開始当初の背景

近年、携帯電話や無線 LAN など無線通信技術の急速な発展によりアンテナを含めた送受信デバイスの研究開発が活発である。これら無線機器は主にギガヘルツ帯の高周波電磁界を扱うため高周波送信用に特化したアナログ回路が必要となる。また、汎用性が高く高速なデジタル回路による信号処理を送受信に適用させる必要があるため、アナログ回路とデジタル回路の混載する複雑なシステムとなっている。このため、高周波アナ

ログ回路を流れる電流の時間的変動が、付随する近傍電界の変動を引き起こし、デジタル回路に悪影響を及ぼす、いわゆる「自家中毒」問題が顕在化しており効率的な無線機器開発の障害となっており、有効な診断技術の確立が急務となっている。

一方、回路近傍に発生する電磁界分布は、その回路の局所的な動作状態を反映するため、近傍電界計測は回路状態把握の観点からも有意義な計測技術である。そのためにも、近傍電界の正確な計測手法が切望されている

が、電界情報を調べるためのループアンテナなど金属アンテナを用いた従来の方法では、金属を被測定物の近傍に配置する必要があるため被測定電界の擾乱（侵襲）が避けられず、正確な計測が困難であった。その一つの解として、電気光学(EO)効果を用いた光電界計測が注目を浴びている。これは、金属にくらべ侵襲性が低い誘電体・半導体結晶を用いるため、被測定電界を乱すことなく検出することが可能である。この手法により、金属アンテナを用いる従来計測手法に比べ、より正確な計測が可能となる。また被測定電界にくらべ波長が短い光を利用する計測手法であるため、従来型計測手法では被測定電界の波長オーダー（10cm 程度）に律速される空間分解能に比して、3 桁以上高解像である点も見逃せない。反面、電界感度は金属アンテナに比べ3 桁以上悪く、不要輻射の計測において満足な数値とは言いがたい。そこで本研究では 10mV/m 級の電界感度を持つ高感度 EO センサの原理実証を行なうことを目的とした。

2. 研究の目的

本研究では（1）従来の光電界センサに比べ 10 倍以上高感度な光電界センサ素子の原理を実証することを目的とし、また（2）光電界計測技術を応用したまったく新しい計測手法の検討も併せて行った。

（1）本研究は光電界センサの高感度化に向け、従来方式にとらわれない新原理の実証を主目的とした。

高感度化によりこれまで測定が困難であった電気・電子回路誤動作の原因となる微弱近傍電界の観測が可能になると期待され、デバイス開発における回路診断技術および開発・試作工程数の大幅な削減に寄与することができる。と考える。

（2）光電界計測技術を用いることで、従来は計測することが不可能であった超高周波電界の計測および学際分野における新奇現象の発見・検出を行うことを目的とした。

従来型の電気技術を基盤とする電界計測手法では、超高周波の電磁界検出は不可能であった。そこで、超広帯域・超高速性を有する光技術を基盤とする光電界計測手法を用い、100GHz 超の超高周波電界の計測可能性を検討した。また、本研究の実現手法である光電界計測技術は、マイクロ波・ミリ波技術と光技術の学際領域にかかる研究であるため、いままで発見・検出されていない新奇な現象が現れる可能性がある。本研究では、光電界計測技術を高度化することにより、新奇現象の発見・検出を積極的に推進することも目的とした。

3. 研究の方法

下記に列挙する手法で本研究を推進した。

（1）超高感度光電界センサの原理実証に向け、センサ素子構造の最適化および数値計算シミュレーションによる高感度化検討を行った。具体的には、半導体量子井戸構造を用い、量子閉じ込めシュタルク効果を利用する光電界センサ素子の設計を行った。

（2）新奇ナノ構造を用いる、光電界センサの実証検討を行った。半導体量子ドットによる光非線形増強効果を見込み、高感度化の検討および実験による光電界計測の実証検討を行った。

（3）光電界計測技術を利用する応用計測技術の検討・実証を行った。具体的には、2次元電界映像取得法である「電界カメラ」を利用し、超高周波電界の検出および新奇現象の開拓を行った。

4. 研究成果

上記「3. 研究の方法」で挙げた3項目について具体的に列挙する。

（1）超高感度光電界センサ素子の検討

（2）新奇ナノ構造を用いる光電界センサ素子の検討

（3）光電界計測技術に立脚する電界カメラを利用した、新しい電界計測手法の確立

（1）超高感度光電界センサ素子の検討

光波による高周波電界の検出を可能にする光電界センサについて、構造の最適化により高感度化を検討した。従来の電気光学 (EO) 効果を有する結晶を用いない半導体結晶を用いナノ構造による電界吸収効果を利用する原理を検討した。センサ構造として GaAs/AlGaAs 量子井戸構造を用い、量子閉じ込めシュタルク効果による電界増強現象を利用し、高感度化の数値計算を行った。10nmGaAs/AlGaAs 量子構造では、従来 EO 結晶（比較対象は ZnTe 結晶）に比べ、単位厚さあたり 1000 倍程度の高感度化が実現可能であることが判明した。また、本構造を基に量子井戸型構造を有する光電界センサの試作可能性の検討を行った。試料作製の簡単化のため波長 800nm 帯に感度を有する GaAs/AlGaAs 量子井戸構造を設計し試作した。具体的には分子線エピタキシ法による5層量子井戸構造を第一次試作とした。吸収光スペクトルの検討の結果、設計意図とは異なり有効感度域が 820nm 以上の長波長帯域となった。そのため電界吸収効果の計測が困難となり、設計上の問題点の洗い出しを行い、さらなる精度の作り込みが必要との結論を得た。今後、第二次試作と検討を行う予定である。

（2）新奇ナノ構造を用いる光電界センサ素子の検討

電気光学効果を利用する量子ドット光電界

センサの検討と試作を行った。先行研究では広く利用されているニオブ酸リチウム結晶と同等程度の電気光学効果が得られているとの報告があるため、光通信に用いられる $1.55\ \mu\text{m}$ 波長帯に適合する InGaAs 量子ドットにて試作を行った。量子ドット試料は高感度化達成の為 150 層積層させた。また、裏面 HR コートを採用することで、実効的に 300 層の量子ドット活性層を得られるような反射型構造を採用した。高精度な電気光学効果計測のため光ファイバ干渉計を製作し電気光学効果の検出を試みたが、干渉計の時間揺動が大きくまた安定性が足りなかったため、有意な検出結果を得ることが出来なかった。今後、光ファイバ干渉計の安定化を図り、量子ドット電気光学効果の再検討を行う予定である。

(3) 光電界計測技術に立脚する電界カメラを利用した、新しい電界計測手法の確立

E0 効果を用いる 2 次元電界瞬時撮像技術である「電界カメラ」を利用し、光電界計測の新領域を切り開くことに成功した。

具体的には、ミリ波領域である 100GHz の放射電界を瞬時に (1 秒以下で) 映像化することに世界で初めて成功した。昨今進展がめざましいミリ波技術素子の検査技術として有用であると考えられる。

w

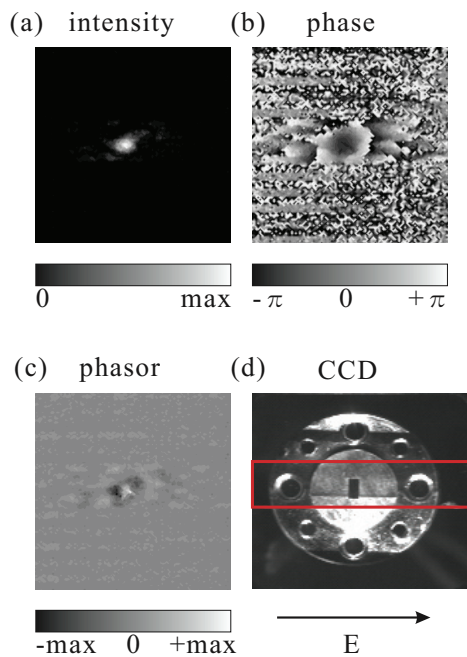


図 100GHz 電界の可視化の様子

また、世界で初めて進行電磁界を可視化することに成功した。E0 結晶と進行電界および検出光波の配置を工夫することにより実現したものである。数値シミュレーション結果でしか想像できなかった電界伝搬の様子を直観的に観測できるため、メタマテリアル等新

規物質の電界応答を実験的に明らかにすることが可能であると考えられる。

2 次元分布の可視化技術を利用する、物質の複素屈折率・複素誘電率の非接触・瞬時面分布計測技術を開発した。従来は時間がかかっていた面分布の計測が瞬時にできるため、検査時間の大幅な短縮化がはかれるものと期待される。

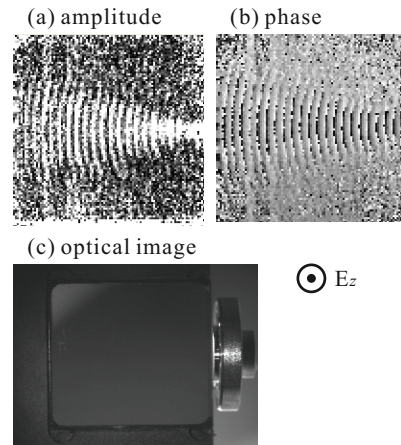


図 進行電磁界の位相イメージングの様子

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)

[学会発表] (計 3 件)

1. Atsushi Kanno, Kiyotaka Sasagawa, Masahiro Tsuchiya, "Phase-Resolved Visualization of 100 GHz Traveling Electromagnetic Waves by an E0 Imaging Method," IEEE Lasers and Electro-Optics Society Annual Meeting (LEOS), TuJ2 (Newport Beach, USA, 11 Nov. 2008).
2. Atsushi Kanno, Kiyotaka Sasagawa, Masahiro Tsuchiya, "W-band live electro-optic imaging system," 38th European Microwave Conference (EuMC2008), EuMC20-1 (Amsterdam, the Netherland, 28 Oct. 2008)
3. Atsushi Kanno, Kiyotaka Sasagawa, Masahiro Tsuchiya, "Multi-channel measurement of RF complex refractive index by live electrooptic imaging camera," 2008 IEEE Intl Topical Meeting on Microwave Photonics (MWP2008), THUP1-39 (Goldcoast, Australia, 2 Oct. 2008).

6. 研究組織

(1) 研究代表者

菅野 敦史 (KANNO ATSUSHI)
独立行政法人情報通信研究機構・新世代ネットワーク研究センター先端 ICT デバイスグループ・専攻研究員
研究者番号：20400707

(2) 研究分担者
()

研究者番号：

(3) 連携研究者
()

研究者番号：