

氏名(本籍)	藤田 順一 (香川県)
専攻	信頼性情報システム工学専攻
学位の種類	博士(工学)
学位記番号	博甲第 102 号
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当者
学位授与の年月日	平成 27 年 3 月 24 日
学位論文題目	発光ダイオードとフォトダイオードを用いた光結合型増幅デバイスに関する研究
論文審査委員	(主査) 服部 哲郎 (副査) 堀川 洋 (副査) 丹治 裕一

論文内容の要旨

第 1 章の序論では、発光ダイオード (LED) とフォトダイオード (PD) の光結合による増幅機能を見出したデバイス研究に至る背景、動機、と現時点での本研究の位置付けについて述べる。

続く第 2 章では、基礎的準備として、LED と PD の物理的動作原理について述べる。これは現在の半導体物理学において説明されている LED と PD の各々の物理的動作機構を記述したものである。

第 3 章は本論であり、LED と PD による光結合型増幅機能について詳述する。また、LED と PD の組み合わせを様々に変えて得られる素子の特性測定実験結果についても述べる。その測定実験において、LED の発光波長や PD の受光波長を変えたところ、増幅作用とスイッチング作用の動作モードは光結合の大きさに依存しているということが明らかとなった。その後、光結合に着目し、様々な電気的特性を測定した結果、増幅のメカニズムを突き止め、開発当初の素子よりも安定して電圧増幅および電流増幅が行えるようになった。本素子は LED と PD の距離を離しても増幅ができるため (ただし効率は下がる)、LED と PD の距離により増幅率可変の素子を実現できた。増幅率可変の制御手段には、距離を変えずとも液晶のように光透過量を制御できる手段でも可能である。

第 4 章では、LED と PD の光結合素子の特徴を活用して開発した応用デバイスとして、オーディオアンプと双方向電流制御素子について述べる。このオーディオアンプは A 級増幅器のトランジスタを新型素子に置き換えた回路構成の新型アンプである。通常のオーディオアンプと同様にプリ・メインアンプの 2 段構成で使用した。この新型アンプによる音響測定を行ったところ市販のアンプと遜色ない結果が得られた。ノイズの観点から評価を行ったところ、非常に簡単な回路構成ながら低ノイズであることが分かった。更には、第 3 章で述べたサイリスタモードを応用し、双方向サイリスタ (TRIAC) のような双方向に電流制

御可能な素子も開発，位相制御による電力制御ができることを確認した。本素子はサイリスタのゲートに相当する端子の電位を制御することでターンオンおよびターンオフのどちらの制御も可能であることを発見した。このような制御は普通のサイリスタでは行うことができない。

第5章 結論では，本研究のまとめを述べる。すなわち，LED と PD による光結合型増幅機能と，その機能に基づいて実現した応用デバイスの特性について要約し，今後の取り組むべき課題について述べる。

審査結果の要旨

本学位論文は，発光ダイオード (LED) とフォトダイオード (PD) との光結合回路により，トランジスタ同様のアンプ機能が実現できることのみならず，サイリスタ的機能も実現可能なことを実験的に検証している論文であり，以下の様にまとめられている。

すなわち，第1章の序論では，LED と PD の光結合による増幅機能を見出してから，そのデバイス研究に至る背景，動機と現時点での研究の位置付けが述べられている。

続く第2章では，現在の半導体物理学において説明されているところの，LED と PD の各々の物理的動作機構が記述されている。

第3章は本論であり，LED と PD による光結合型増幅機能が詳述されており，LED と PD の組み合わせの変化による，特性測定実験結果も記述されている。その特性測定実験において，LED の発光波長や PD の受光波長を変えたところ，増幅作用とスイッチング作用の動作モードが光結合の大きさに依存して生じるということが明らかとなった。また，種々の電気的特性の測定から，増幅の作動メカニズムの詳細が把握できたため，開発当初の素子よりも安定した，電圧増幅と電流増幅の機能の実現が可能になったことが示されている。本デバイスは，LED と PD の距離を離しても増幅が可能となるため（但し効率を下がる），LED と PD 間の距離による増幅率可変素子を実現できること，また増幅率可変の制御手段として，距離変化のみならず液晶の様な光透過量の制御によっても可能であることが示されている。

第4章では，LED と PD の光結合素子の特徴を活用した応用デバイスとして，オーディオアンプと双方向電流制御素子についての，極めて新規な内容が述べられている。このオーディオアンプはA級増幅器のトランジスタを，LED と PD の光結合型素子に置き換えた回路構成の新型アンプである。通常のオーディオアンプと同様に，プリ・メインアンプの2段構成である。この新型アンプによる音響測定を行ったところ，市販のアンプと遜色のない結果が示されている。ノイズの観点から評価を行ったところ，非常に簡単な回路構成でありながらも，低ノイズであることが実験的測定結果として記述されている。

更には，第3章のサイリスタモードを応用して，双方向サイリスタ (TRIAC) のような双方向電流制御可能な素子も開発され，位相制御による電力制御が可能なること，サイリスタのゲートに相当する端子の電位を制御することでターンオンおよびターンオフのいずれ

の制御も可能であること、そして、このような制御は通常のサイリスタでは実現できないことも述べられている。

第5章の結論では、LED と PD による光結合型増幅機能と、その機能に基づいて実現した応用デバイスの特性について要約されている。

以上の内容は、応用物理学会論文誌、日本感性工学会英文誌、更には、IEEE 国際会議の論文として発表されており、その新規性と有用性から、本学位論文は博士論文として相応しいものと判定する。

最終試験結果の要旨

2015年2月10日に1時間30分の公聴会后、最終試験を行った。最終試験では、主論文に記述された物理的現象やその動作原理等について詳細な数多くの質疑応答が行われた。

具体的には、(1)「光結合型素子においてLEDを直列ではなく並列接続しても光は増えるはずだ、なぜ直列でなければ光による帰還電流量が増えないのか」、(2)「何故、光帰還量 α は1を超えるのか」、(3)「光結合型素子のデザインの難しさはどこにあるのか」、などの質問があった。

(1)に対しては、LEDを2個並列接続した場合、光量は2倍となってPDに照射され、PDで発生する電流量は、1個のLEDから照射された場合の2倍となるが、その電流が2個並列接続のLEDへ帰還する際には、1個当たりのLEDに帰還する電流量としては増加しないことになる。次に、LEDを2個直列接続にした場合は、LED全体に掛かる電圧が2倍とはなるが、電流は同じままでLEDからPDへの照射光量が2倍となり、PDで発生する電流量を増やすことができる。そのため、その電流が2個直列接続のLEDに対して帰還する際には、LEDへの電流帰還量が増加することになる、という応答がなされた。

また、(2)に対しては、(1)で説明されたところのLEDの直列数を増やしていくと、PDからLEDへの電流帰還が増えて行き、 α は1を超えることができること、これはエネルギー保存則に反していないこと、また、通常のトランジスタでは1を超えないこと、等について詳細な説明がなされた。

続く(3)に対しては、LEDとPDの種類やLEDとPDの各々の配置構成、LEDとPD間の距離などのパラメータによってLEDとPDによる素子特性が大きく変化すること、受光側のPDによる影響は大きくないが、LEDは使用する電流の範囲で発光効率が変化するため、電流帰還量が大幅に変化する場合があること、そのため、考慮すべき設計パラメータ数が多くあり、安定素子として動作させるのに苦労する、といったことも具体的かつ詳細に述べられた。

以上の様な内容を含む、数多くの質疑や討議において、現時点での実験結果に基づいた確かな質疑応答が行われたと考え、最終試験は合格と判定する。