

# 大出力システム実現のためのパワー半導体デバイスおよび回路技術に関する研究

吉野, 理貴 / YOSHINO, Michitaka

---

(開始ページ / Start Page)

1

(終了ページ / End Page)

164

(発行年 / Year)

2017-03-24

(学位授与番号 / Degree Number)

32675乙第226号

(学位授与年月日 / Date of Granted)

2017-03-24

(学位名 / Degree Name)

博士(工学)

(学位授与機関 / Degree Grantor)

法政大学 (Hosei University)

(URL)

<https://doi.org/10.15002/00013954>

博士学位論文  
論文内容の要旨および審査結果の要旨

氏名	吉野 理貴
学位の種類	博士 (工学)
学位記番号	第 226 号
学位授与の日付	2017 年 3 月 24 日
学位授与の要件	法政大学学位規則第 5 条第 1 項第 2 号該当者 (乙)
論文審査委員	主査 教授 安田 彰 副査 教授 栗山 一男 副査 教授 山本 康博 副査 教授 三島 友義 (法政大学イオンビーム工学研究 所任期付専任研究員)

大出力システム実現のためのパワー半導体デバイスおよび回路技術に関する研究

### 1. 論文内容の要旨

エネルギーとして電気信号を扱うパワーエレクトロニクス分野は、これまで以上に重要になって来ている。半導体デバイスの微細化によりトランジスタのスピードおよび集積度が向上し、DSPやCPUの性能は大きく向上している。また、消費電力も低減されデジタル制御が可能となり、パワーエレクトロニクス機器の性能向上が図られてきている。デジタル制御による高精度化とともに高出力化への要求も高まっている。大電力音響システムは、従来のアナログ方式からデジタル制御方式への移行が可能な分野であり、また高電圧スイッチング駆動により薄型の圧電型や静電型アクチュエータの実用化も期待されている。

本論文は、大電力パワーエレクトロニクス機器の高性能化における問題点を、システムの見地、回路の見地、デバイスの見地から総合的に検討し、それら問題点の解決を研究の目的としている。

本論文は 7 章から構成されている。第 1 章では、スイッチング素子を用いた大電力システムについて、スイッチング素子となる半導体、特にトランジスタ、ダイオードに関してこれまでの先駆的な研究を概説している。次にスイッチング回路の基本となる D 級増幅器について解説を行い、近年研究されているデジタル直接駆動方式についてその有効性、課題を述べている。

第 2 章では、パワーエレクトロニクス機器における高出力化手法について概説し、音響分野を対象にさらに解説を行っている。従来は A 級や AB 級のアナログ増幅器が電氣的出力駆動に用いられてきたが、これに代わり D 級増幅器が用いられている。ここでは、デジタル直接駆動方式の適用を提案し、出力段の並列化による高出力化を提案している。また、電源電圧による最大出力電力の限界を打ち破る手法として、電源電圧を超える出力範囲を持ったスイッチング増幅段の提案を行っている。また、出力電圧の上昇を実現するためには、スイッチングデバイスの高耐圧が重要であることを指摘し、その手法について概説し

ている。

第 3 章では、電源電圧を超える電圧を出力可能な D 級増幅器を提案している。まず、従来の D 級増幅器について概説を行い、その出力段と DC-DC コンバータの出力段が類似している点から、H ブリッジ回路を D 級増幅器に応用することで、電源電圧を超える電圧出力可能な回路を提案している。

第 4 章では、デジタル直接駆動スピーカシステムを用いた大電力出力可能な音響システムの提案を行っている。ここでは、これまでのデジタル直接駆動スピーカを概説し、その問題点として出力振幅減少時の雑音の発生を指摘している。これを解決する方法として動的にミスマッチシェーパー回路にディザを入れるが出力に影響を与えない ZVD 法を提案し LSI を試作し検証を行っている。

第 5 章では、デジタル直接駆動スピーカシステムで重要となるスイッチングデバイスの高耐圧化について概説している。スイッチングデバイスの高耐圧化を考える上で最も基本的なデバイスであるダイオードを取り上げ、その高耐圧化手法を概説し、その際重要となる電界強度の低減方法を、デバイス構造の面から詳細に検討している。

第 6 章では、第 5 章での検討を踏まえ高誘電材料を用いた高耐圧化手法を提案している。フィールドプレートを用いたメサ型ダイオードにおいて、インシュレータに用いる誘電材料の誘電率と、デバイス内における電界強度の関係を解析している。この結果より誘電率を制御することによるデバイス内の電界強度の均一化手法を提案している。この最適な誘電率を実現出来る材料を検討し、これを実現出来るセリウム・シリコン複合酸化物膜の製造方法を実証している。さらに、提案手法を適用した GaN ダイオードを試作し提案手法の有効性を検証している。

## 2. 審査結果の要旨

本論文は、パワーエレクトロニクス機器における大電力化に関し、これを実現するために必用となるシステム構成、回路構成、デバイス構造について大出力化の観点から考察し、これらを実現する手法を提案、評価したものである。審査の結果、下記の点において、工学上の新規性と有効性を確認した。

### 1. デジタル直接駆動システムによるスピーカシステムにおける大電力化および低雑音化技術

デジタル直接駆動システムをスピーカシステムに適用し、H ブリッジによる駆動による出力電圧振幅の 2 倍化を実現している。その際に、低振幅出力時の雑音の増加が問題となることを指摘し、これを解決する手段として ZDV 法を提案している。これらの技術を組み込んだ LSI を試作し、その効果を実証している。

### 2. 電源電圧を超えることが出来る高精度 D 級増幅器構成技術

従来の D 級増幅器は、最大でも電源電圧までしか増幅できなかったが、提案手法では

電源電圧の 2 倍以上の振幅を出力出来る手法を提案している。電源電圧以下を出力する場合と、電源電圧以上を出力する場合で、出力回路のスイッチング方法を変更する必要があるが、これを入力電圧に応じて切り替えられる手法を提案し、従来手法以上の歪み特性を実現している。

### 3. 高誘電材料を用いた電界強度均一化による高耐圧化手法

フィールドプレートを用いたメサ型ダイオードにおけるインシュレータ誘電材料の誘電率と、デバイス内における電界強度の関係を解析から、誘電率と電界強度分布を最適化出来ることを明らかにしている。これより、誘電率を制御することによるデバイス内の電界強度の均一化手法を提案している。さらに、GaN ダイオードへの適用を試み、デバイス構造から最適な誘電率を導き出している。この最適な比誘電率 12.3 となる材料を検討し、これを実現出来るセリウム・シリコン複合酸化物膜の製造方法を提案し実証している。試作したダイオードでは 2000V 以上の耐圧を実現し、耐圧を超えたブレークダウンした場合でもアバランシェ電流は流れるものの破壊されないことを実験により確認している。

以上、本論文で提案された大電力化実現手法は、システムレベルからデバイスまで検討されたもので、電源電圧以上の電圧駆動の実現、並列化による大電力・高精度化のデジタル信号直接駆動による実現、さらにこのための高耐圧デバイスの提案を行っており、工学に資するところが大きい。よって、本審査小委員会は全会一致をもって提出論文が博士（工学）の学位に値するとの結論に達した。

(報告様式Ⅲ)