

(様式2)

## 学位論文の概要及び要旨

氏 名 原田 宜明 印

題 目 発光ダイオードの駆動電流パルス幅制御による高出力動作と植物栽培への応用

### 学位論文の概要及び要旨

発光ダイオード (Light Emitting Diode; LED) は、その開発の長い歴史の中で、赤外線、赤色、オレンジ色、黄緑色と新たな半導体材料の開発とともに発光色 (波長) の拡大が進められてきた。LEDは一般に小型、長寿命、高効率・低消費電力、高輝度であり、その特徴を活かした応用に用いられてきた。そして、1990年代にGaN系半導体による高輝度青色発光LEDが開発されると、さらに蛍光体との組み合わせによる白色LEDも開発され、LEDの応用分野は照明分野まで広がり大きく拡大することになった。それによってさらに低コスト化が進み、引き続き様々な分野で研究開発が進められている。このような状況下で、次の点が課題となった。すなわち一つには、赤色、青色LEDに対し、緑色LEDの効率が低いこと、別の点として、特に照明用途に必要な大きな光束が得にくいことである。前者に関して、GaN系半導体ではその物性から、青色から青紫色領域のLEDで非常に効率が高いものが得られるが、緑色領域では相対的に効率が低下することが明らかになった。これに対し、GaN系半導体を用いて効率を高める研究開発も進められているが、緑色領域に適した他の半導体を用いることも考えられる。そのような半導体として、ZnSe系半導体がある。実際、GaN系半導体の開発に先駆けて青緑色レーザーダイオードなどが開発されてきた歴史があるが、素子の寿命が不十分とされていた。次に、後者の課題に関し、一般に白色LEDに用いられるGaN系青色LEDは、寿命は十分長いとされている。しかし、LEDは基本的に数ボルト、数十ミリアンペア程度で駆動されるため、投入電力、したがって出力光束は限られている。そのため、照明用途に必要な大きな光束を得るためには、LED素子数を増やすか、駆動電流を増やしてLED 1個あたりの光束を増やす必要がある。前者の場合はコスト高となり、後者の場合は電流が過大となり寿命短縮の問題が生じる。これらに共通する課題は、動作寿命の確保である。

本研究では、LEDの動作寿命の確保のために、LEDを通常の直流電流駆動に代えてパルス電流駆動とし、さらにそのパルス電流の時間幅をある一定値以下にすることで、直流電流駆動の場合に対して動作寿命を延長できることを見出した。これは、LED内部のマイクロ結晶欠陥における電子・正孔の非発光再結合によって引き起こされる結晶欠陥の増殖 (再結合促進欠陥反応) が素子劣化の要因であるとの着眼から、非発光再結合時定数 (寿命) 以下にパルス電流幅を制限する (駆動電流パルス幅制御) ことによって非発光再結合を抑制し、結晶欠

陥の増殖も抑えるというものである。実際、ZnSe系青緑色LEDに対して駆動電流パルス幅制御を適用し、動作寿命増大を確認した。さらに、GaN系紫外LEDについても同様に駆動電流パルス幅制御を適用し、動作寿命の増大を確認した。これらのことから、素子の動作寿命が問題となるような条件下では、駆動電流パルス幅制御が寿命増大に有効であること、それは特定の材料系に依存しない効果であることが示された。

LEDの照明用途の応用の一つとして、近年植物栽培が注目されている。この場合、太陽光の代替としての性能が要求され、特に大きな光束が必要となる。したがって、これを用いる植物栽培工場等では、LEDを含めた照明用設備のコストが大きくなる。そこで、駆動電流パルス幅制御を応用して標準より大きな平均駆動電流で動作させ、なおかつ動作寿命を確保することができれば、照明設備のコスト削減につながる。また、LED側の実証とともに、植物がパルス動作のLED照明でも問題なく成長することの実証も必要である。

そこで、本研究では、駆動電流パルス幅制御を用いた白色LED照明を用い、植物工場を模した条件で実際に植物栽培を行った。その結果、パルス電流による駆動の場合も、概ね平均投入電力に比例した成長量が得られ、パルス動作の悪影響なく植物を育成できることが示された。また、LEDの寿命について、平均電流を標準の直流電流の1.5倍とした場合でも、劣化は確認されなかった。

以上より、本研究により、LEDをパルス駆動してそのパルス幅を制限する駆動電流パルス幅制御によりLEDの動作寿命を延長できること、またその応用例として、植物栽培への適用および照明設備コスト削減の可能性が示された。