

205～250nm 帯深紫外半導体レーザの研究開発

Research on Deep-UV Semiconductor Laser Lasing in 205～250 nm Region

川西 英雄 (Kawanishi Hideo)

工学院大学・工学部・教授



研究の概要

本研究申請に関する先導的研究により、レーザ発振波長 241.5nm (室温) を AlGa_N 多重量子井戸構造半導体レーザで実現した。この発振波長は、世界で最短波長であった。しかしながら、「何故、このような最短波長でレーザ発振が達成できたのか」には、多くの「謎」が含まれており、それらが解明されていなかった。本研究は、この先導的研究成果を出発点として、その「謎」を科学的に分析し、そこで得た知見を基に、さらに短波長で発振する半導体レーザを世界に先駆けて開発しようとするものである。

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：半導体レーザ、量子井戸、窒化物半導体、超格子、深紫外

1. 研究開始当初の背景・動機

半導体レーザの発振波長を紫外から深紫外域へと広げることが可能な半導体が出てきた。光励起により、241.5nm で発振する世界で最短波長の AlGa_N 多重量子井戸型半導体レーザを実現した。しかしながら、「何故、このような最短波長でレーザ発振したのか」には、多くの謎が含まれていた。

2. 研究の目的

世界最短波長でレーザ発振した「謎」を科学的に分析し、更に短波長で発振する半導体レーザを世界に先駆けて実現しようとするものである。

また、電流注入型半導体レーザの開発にも挑戦する。

3. 研究の方法

最新の半導体成長装置（有機金属気相エピタキシャル装置）により、ワイドギャップ半導体を成長する。こうして成長した極めて高品質な結晶で、半導体レーザを製作すし、短波長化の限界を極める。

そのためには、AlGa_N 半導体結晶の高品質化が大きな問題である。Auternate Source-Feeding Epitaxy と名付けた「交互供給法」によるエピタキシャル成長技術による結晶成長、透過電子顕微鏡による転位の直接観察による結晶の高品質化を目指す。

4. これまでの成果

製作した半導体レーザの断面構造は図.1 に示すとおりである。光を発光する活性層は 20～40 原子層程度の厚さしかない量子井戸構造と呼ばれる構造からなり、この活性層で効率よく発光するように工夫されて

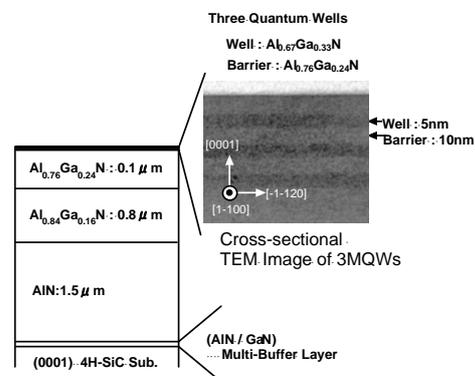


図.1 AlGa_N 多重量子井戸構造深紫外半導体レーザの断面構造 (well と記した黒色の帯状領域が量子井戸部分)

いる。

これを励起し、活性層で発光した光は、図では横方向に伝搬しながら光の増幅が起こるが、ある値以上の励起強度で、光の発振が起こる。このとき半導体レーザは発振したことになる。

最初の「謎」を解くために、増幅された光の偏光（偏波とも言われる）特性を調べた。その結果、レーザ光は、深紫外域では TM モードと呼ばれる、光の電界成分が垂直方向の成分のみを有する光となっている

ことが明らかになった(文献 6 参照)。これは本研究により世界で初めて実験的に確認されたものである。

また、それに伴い、表面からの発光強度は極微弱になることも発見した。これを「光学異方特性」と呼ぶ(文献 5 参照)。

この光学異方性特性による表面発光強度の低下が深紫外域でのレーザ発振を妨げていた一つの理由である。この様に、本研究を開始する際の、一つの大切な「謎」が解明されたのである。このことは、レーザ発振に必要な光増幅に関する利得、すなわち「光利得」と呼ぶ利得の内、横方向の光利得は、ほとんど変化が無く、横方向に光が伝搬することでレーザ発振ができるに十分であることになる。

これまでの研究成果を基に、平成 19 年度以降は、電流注入型 AlGaIn 深紫外半導体レーザの実現に向けた研究に集中することとした。しかしながら、現時点では、340nm より短波長帯でこれを実現した研究機関からの報告はない。

その最も大きな唯一の理由は、半導体レーザの達成できる動作電流密度が発光ダイオードとそれと比べ格段に高いうえに、素子の電気抵抗値が高い事である。その原因は、p 型 AlGaIn のキャリア密度を高くできないことによる。

図、2 は本研究でレーザ発振した深紫外半導体レーザの内部の結晶歪みの様子を x 線回折(逆格子マッピングと呼ぶ)の手法で調べた結果である。

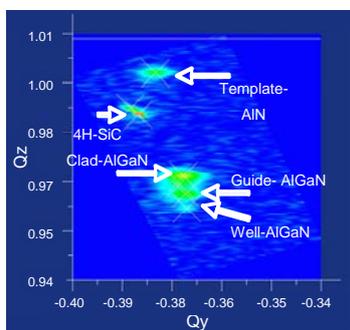


図. 2 AlGaIn 多重量子井戸深紫外半導体レーザの逆格子マッピング(歪み解析に用いている)

図の下部に半導体レーザの各部分から回折してきたピークが観測されるが、この様に最新の分析装置によって詳細に調べることが出来る様になってきた。特に、「Well-AlGaIn」と記しているピークは、半導体レーザで光を発する活性層となる「量子井戸(その厚さは、5 ナノメートルで 10 原子層の厚さに相当している)」の部分からの x 線回折ピークで、ガイド層の格子定数とほぼ同じ値であり、格子が緩和している様子が読み取れる。この様に、最新の研究装置を利用することで、ミクロな観点からも半導体結晶の内部を精密に分析、その様子を把握できる。

5. これまでの進捗状況と今後の計画

本研究は、当初の研究計画にほぼ沿った研究成果を上げてきた。本研究過程で、AlGaIn からの深紫外発光域では、表面発光強度が微弱か、発光が観測できない、「光学異方性」があるとともに、TM モードでしかレーザ発振しないことが明らかになった。これらの研究結果を更に発展させ、AlGaIn 半導体による電流注入型深紫外半導体レーザダイオードの実現を目指す。

6. これまでの発表論文等

(研究代表者は太字、研究分担者には下線)

1. Ken-ichi Isono, Eiichiro Niikura, Koichi Murakawa, Fumio Hasegawa, and **Hideo Kawanishi**, "Improvement of Crystal Quality of n-AlGaIn by Alternate-Source-Feeding Metal Organic Vapor Phase Epitaxy", Japan J. Appl. Phys., Vol. 46, No. 9A, 5711-5714 (2007)
2. Eiichiro Niikura, Koichi Murakawa, Fumio Hasegawa, **Hideo Kawanishi**, "Improvement of crystal quality of AlN and AlGaIn epitaxial layers by controlling the strain with the (AlN/GaIn) multi-buffer layer," Journal of Crystal Growth .298, 345(2007)
3. Kouichiro Murakawa, Eiichiro Niikura, Fumio Hasegawa and **Hideo Kawanishi**, "Reduction of Threading Dislocations in AlGaIn/AlN/SiC Epitaxial Layers by Controlled Strain with (AlN/GaIn) Multibuffer-layer Structure," Japan. J. Appl. Phys, 46, 6A, 3301-3304 (2007)
4. **Hideo Kawanishi**, Eiichiro Niikura, Mao Yamamoto, and Shoichiro Takeda, "Experimental energy difference between heavy- or light-hole valence band and crystal-field split-off-hole valence band in $Al_xGa_{1-x}N$," Appl. Phys. Lett, 89, 25, 251107(2006)
5. **Hideo Kawanishi**, Masanori Senuma, Mao Yamamoto, Eiichiro Niikura, and Takeaki Nukui, "Extremely weak surface emission from (0001) c-plane AlGaIn multiple quantum well structure in deep-ultraviolet spectral region," Appl. Phys. Lett, 89, 8, 081121 (2006)
6. **Hideo Kawanishi**, Masanori Senuma, and Takeaki Nukui, "Anisotropic polarization characteristics of lasing and spontaneous surface and edge emissions from deep-ultraviolet ($\lambda \approx 240$ nm) AlGaIn multiple-quantum-well lasers," Appl Phys. Lett, 89, 4, 041126 (2006)

ホームページ等

<http://www.ns.kogakuin.ac.jp/~wwc1048/>