

〈一般研究課題〉 白色LED照明普及のために必要な光制御機構の確立
助成研究者 名城大学 岩谷 素顕



白色LED照明普及のために必要な光制御機構の確立

岩谷 素顕
(名城大学)

Control of the light extraction efficiency in nitride based LED for dissemination of white LED lighting

Motoaki Iwaya
(Meijo University)

Abstract:

To realize high-efficiency light emitting diodes (LEDs), it is essential to increase light extraction efficiency. The moth-eye structure, consisting of periodic cones with a submicron-scale pitch on a surface/interface, is known to enhance the light extraction efficiency of light-emitting diodes. In this paper, we report the advantage of the moth-eye patterned sapphire substrate (MEPSS) comparing with the conventional micro-scale periodic patterned sapphire substrate (PSS) technology. We also discuss the light extraction efficiency in nitride based LED using moth-eye technology. The output power of the LED with MEPSS is 30 % higher than that of the device with conventional PSS.

はじめに

窒化物半導体は、直接遷移型のバンド構造を有しているワイドギャップ半導体ということから青色・緑色LEDの材料として広く普及している。また、青色LEDと蛍光体を組み合わせた白色LEDは、小型・高効率・低消費電力などの理由から急速に普及が進んでいる。特に、信号機、携帯電話のバックライト、液晶テレビのバックライトなどに用いられており、急速に普及が進んでいる。さらに、2008年に発売されたLED電球は大量生産のおかげで急速に普及が進み、最近では大手家電量販店のみならずスーパーマーケットやコンビニエンスストアでも購入が可能となっている。今後、このような白色電球を中心とした白色照明が急速に普及することが期待されている。

今後、窒化物半導体を用いた白色LEDが照明として既存の白熱電球や蛍光灯を置き換えていくためには、演色性や効率のさらなる向上など様々な課題が存在する。その中でも、光取り出しや光の拡散などをチップ内で制御していくためには様々な課題が存在しており、これらを包括的に解決していくことが必要不可欠である。半導体中の光取り出し効率を改善する手法としては、半導体外部にウェットエッチングやドライエッチング技術等を活用することによって表面に凹凸を形成する方法や、誘電体等を周期的に形成していく方法などが用いられている。その中でも、最も良く用いられる方法として、ミクロンオーダーという周期的な凹凸加工を行うPSS基板を用いた方法 [1] は、光の拡散を利用した光制御技術として広く用いられている。一般的に光学波長以下の凹凸を形成することによって、拡散の効果以外に回折の効果が発現する。このようなサブミクロンオーダーの凹凸を形成することによって、光の制御を行う方法は古くから知られており、このような構造をMoth-eye構造[2]と呼ぶ。本研究課題では、このPSS基板技術をさらに発展させた、サブミクロンオーダーという光学波長程度の周期をもつ凹凸加工を用いたMoth-eye構造をサファイア基板上に形成し、それによるLEDの特性の変化を検討した。

実験方法

本研究課題では、半導体基板は有機金属化合物気相成長法によって作製した。試料はCMP研磨した通常の市販されているサファイア基板、周期2ミクロン、高さ1ミクロンのPSS基板、さらには周期500ナノメートル、高さ250ナノメートルのMoth-eye基板の3種類の基板上に作製した。作製した基板の断面および鳥瞰走査電子顕微鏡像をFig. 1およびFig. 2に示す。この3種類の基板上に、有機金属化合物気相成長装置を用いて、低温GaNバッファ層を介してGaNを成長後、青色LEDのデバイス構造を作製した。

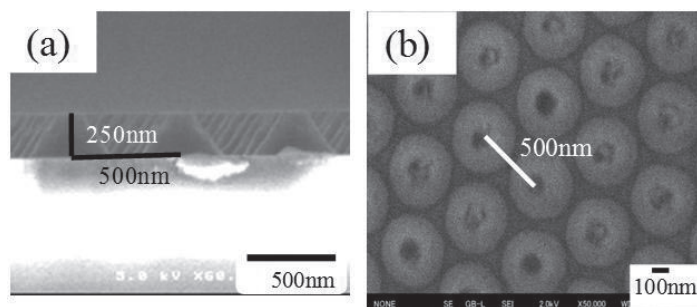


Fig. 1 (a) Cross sectional and (b) plan view SEM images of Moth-eye substrate

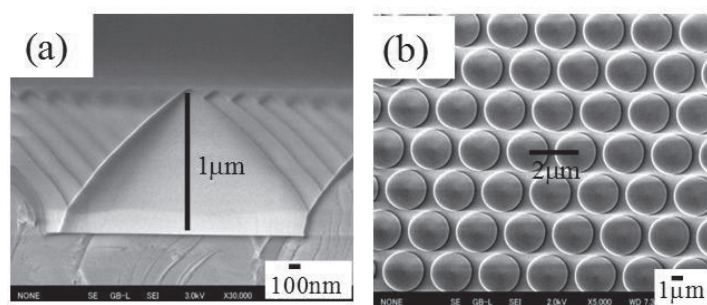


Fig. 2 (a) Cross sectional and (b) plan view SEM images of PSS substrate

PSS基板およびMoth-eye基板はそれぞれフォトリソグラフィ技術とマスク転写電子ビーム露光装置を用いてパターンを作製し、ドライエッチング装置を用いて凹凸を形成した[3]。Fig. 3に本研究で作製したLEDのデバイス構造を示す。低温バッファ層を介して作製した高品質GaN上に、3ミクロンのSiドープしたn型GaN、5周期からなるGaInN/GaNの多重量子井戸、p型AlGaNブロッキング層、p型GaN層を順に積層した。試料作製後、これらの結晶をX線回折測定(XRD)や、カソードルミネッセンス測定、AFM測定等を用いて結晶性の評価を行った。さらに、デバイスプロセスを行い、LEDを作製した。n型電極にはTi/Al/Ti/Auを用い、p型電極には高反射率電極としてAg-Pd-Cu(APC)合金電極[4]を形成した。チップサイズは1mm角で、デバイスの測定は室温で行った。

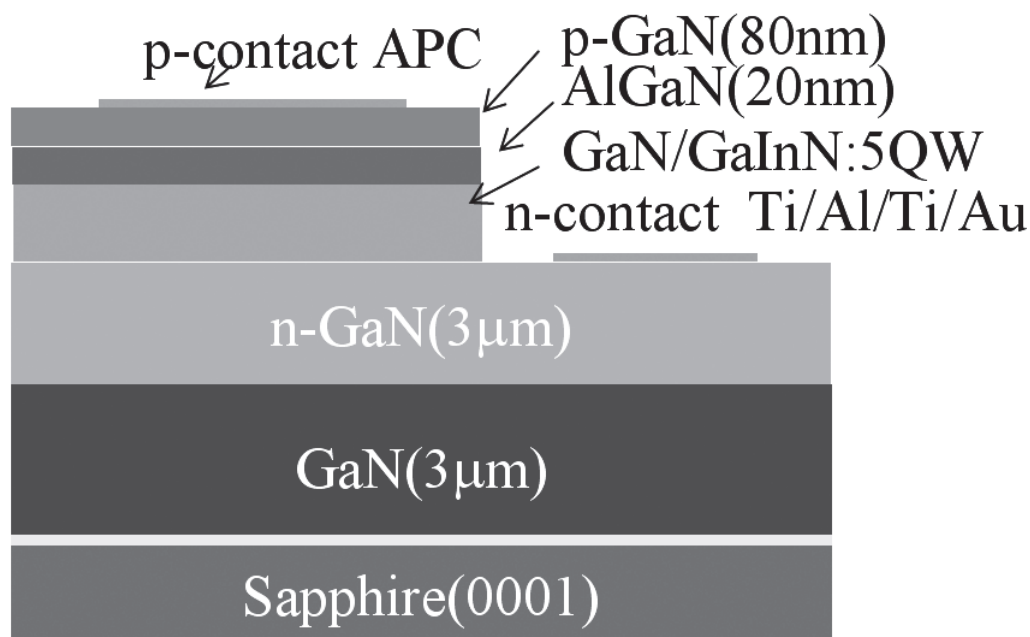


Fig.3 簡略的に書いたLEDの断面から見た試料構造図

Table 1 作製した試料のXRDによる結晶性の評価結果およびAFMによって求めた表面ラフネスをまとめた結果

Substrate	XRD [arcsec]		RMS [nm] (10 × 10 μm ²)
	(0002)	(10-12)	
flat	288	550	0.72
PSS	260	350	1.50
Moth-eye	262	300	0.87

実験結果

Table 1にX線回折測定によって求めた結晶品質、AFMによって評価した表面平坦性をまとめた結果を示す。Table I中のXRDの値は値が小さいほど結晶性が良いことをあらわしており、今回得られている値は、GaNでは良好な値といえる。特に、フラット基板上に比べPSS基板上およびMoth-eye基板上のほうが結晶性が良好な結果が得られた。これは、断面透過型電子顕微鏡観察の結果、転位が基板の凹凸によって屈曲され、それによって低転位化され、結果として結晶性が向上していることが確認されている。また、PSSとMoth-eye基板の間には大きな結晶性の違いは確認できなかった。

次にLED作製後の電流-光出力特性のデータをFig.4に示す。図より、フラットサファイア基板上に作製した場合に比べ、PSS基板やMoth-eye基板のほうが光出力は向上していることが分かる。これは結晶性の向上によるものも関係しているが、青色LEDの場合、Table1に示すような結晶性であれば十分に内部量子効率が高く、光取り出し効率が向上していることが大きな理由と考えられる。さらに、PSS基板とMoth-eye基板を比較すると、Moth-eye基板のほうが約1.3倍光出力が向上していることが確認できた。これは、先にも述べたようにMoth-eye基板の場合、サブミクロンオーダーの凹凸を形成していることから、PSS基板では光の拡散のみしか利用できていないのに対して、回折現象まで利用しているためであると考えられる。このことを、サファイアにサブミクロンオーダーの凹凸を形成することによってフォトニック効果を発現させることが可能であることを実証しており、今後更なる改善によって光の制御が可能となると期待される。

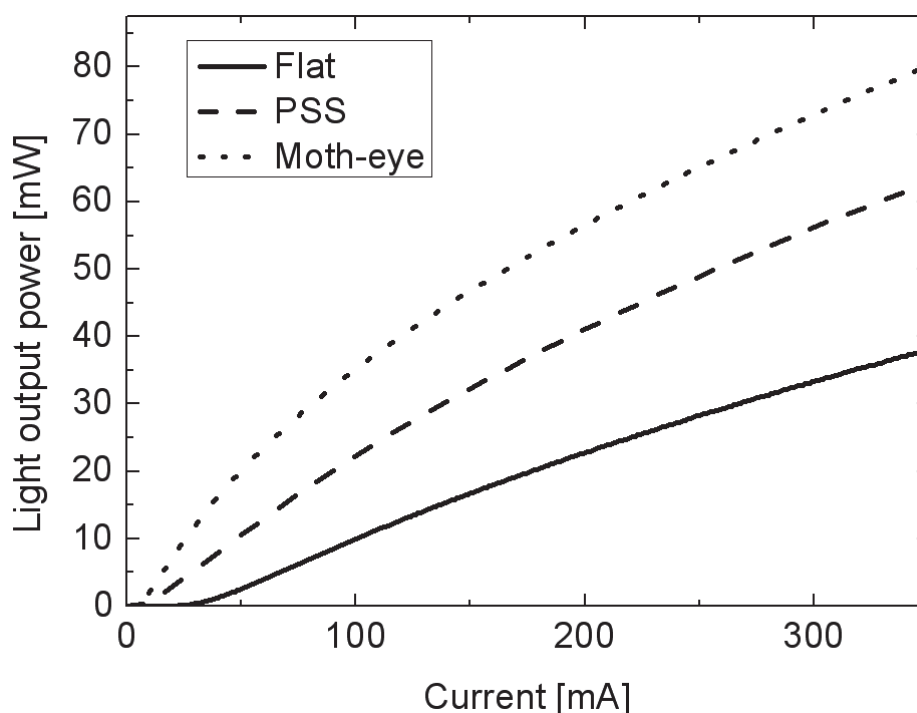


Fig. 4 LEDの電流-光出力特性

まとめ

本研究課題では、サブミクロンオーダーの凹凸加工を施すことによってLED照明を実用化するために必須な光の制御技術が可能かの検討を行った。ミクロンオーダーの凹凸を形成した場合に比べ、サブミクロンオーダーの凹凸を形成することによって、LEDの光出力の向上が見られ、拡散に加え回折効果の制御が可能な知見を得られた。今後は、さらに光の制御が可能な構造の検討を進めていく予定である。

参考文献

1. K. Tadatomo, H. Okagawa, Y. Ohuchi, T. Tsunekawa, Y. Imada, M. Kato, and T. Taguchi : Jpn. J. Appl. Phys. 40 (2001) L583.
2. C. C. Bernhard, Endeavour 26 (1967) 79.
3. T. Seko, S. Mabuchi, F. Teramae, A. Suzuki, Y. Kaneko, R. Kawai, S. Kamiyama, M. Iwaya, H. Amano, and I. Akasaki : Proc. SPIE 7216 (2009) 721628.
4. R. Kawai, T. Mori, W. Ochiai, A. Suzuki, M. Iwaya, H. Amano, S. Kamiyama, and I. Akasaki: Phys. Status Solidi C 6 (2009) S830.

