

機関番号：16101

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2008～2010

課題番号：20560302

研究課題名(和文) ナノインプリント技術を用いた窒化物系半導体発光デバイスの研究

研究課題名(英文) Study on nitride-based semiconductor photonic devices with nano-imprint technique

研究代表者

直井 美貴 (NAOI YOSHIKI)

徳島大学・大学院リソテックサイエンス研究部・准教授

研究者番号：90253228

研究成果の概要(和文)：本研究では、ナノインプリント技術を窒化物系半導体に応用し、窒化物系半導体発光デバイスの開発および高性能化について検討した。ナノインプリント技術により形成された表面周期構造による回折効果を実験的に確認した。本構造を有する受光デバイスの試作を行い基礎特性を明らかにした。また、表面および界面周期構造を有する発光ダイオードを試作し、高光出力化・指向性等の特性を明らかにした。

研究成果の概要(英文)：We have studied on the development and the improvement of device performance of nitride-based semiconductor photonic devices by using nano-imprint lithography technique. We have experimentally confirmed the diffraction effects for the sample with surface periodic structure on GaN surface fabricated by nano-imprint lithography technique. We fabricated the photodetector with this structure, and investigated the fundamental characteristics for the device. We also studied for the LED devices with the periodic structure on the surface and the interface between the GaN and the substrate, and investigated the effects on output light power and the directivity.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	1,400,000	420,000	1,820,000
2009年度	1,200,000	360,000	1,560,000
2010年度	600,000	180,000	780,000
年度			
年度			
総計	3,200,000	960,000	4,160,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：電気電子工学、電子・電気材料工学

キーワード：薄膜・量子構造

1. 研究開始当初の背景

ナノインプリント技術は、電子ビーム露光法と並んでナノ微細構造を作製する有力な手段の一つである。電子ビーム露光法と比較し短時間で大面積にわたる微細加工が原理的に可能であり、基礎研究段階から実際のデバイスへの応用が模索されている。

一方、窒化物系半導体は、青色発光ダイオード・青紫色レーザーの実現以降、多くの研

究者により依然として研究開発がなされているが、結晶品質は未だ十分ではなく、そのため熱発生による光出力低減などの問題を有している。また、LED以外の他のデバイス応用の検討は多くない状況である。

2. 研究の目的

本研究は、上記1の背景のもとに、ナノインプリント技術を窒化物系半導体材料に応

用し、Ⅲ-V族半導体等で広く用いられている技術と組み合わせることにより発光デバイスの開発・高性能化を目指し、

- (1) ナノインプリント技術により作成された表面・界面周期構造による光の干渉効果を利用したデバイス開発とその特性評価
- (2) ナノインプリント技術による表面・界面周期構造による発光ダイオードの発光効率改善、特に外部量子効率改善

を目的とする。

3. 研究の方法

ナノインプリント技術の窒化物系デバイスへの適用において重要な窒化物基板上およびサファイア基板上へのナノサイズパターン周期構造の形成を、従来のリソグラフィ技術と組み合わせて検討を行った。その結果をもとに、ナノインプリント技術により作成された表面周期構造の光に対する干渉性を確認する。また、周期構造を有する基板上への窒化物デバイスを有機金属気相成長法により作製・試作し、その特性を調査する。

4. 研究成果

(1) ナノインプリントリソグラフィにおけるエッチング条件の最適化、特に耐エッチング材料にニッケルを使用することにより、サファイア基板上に100ナノメートル以上の深さを有する数百nm周期程度のナノ微細構造の作製に成功した。サファイア基板上にナノインプリント法を用いて微細構造を実現したはじめての報告例である。また、窒化物半導体上への数百ナノメートル以上の深さを有する微細構造の作製に成功した。

(2) 微細加工サファイア基板上にLED構造を有機金属気相成長法により作製し、その発光効率を検討した。微細加工していないものに対して、約1.3倍程度の発光出力向上が見られた。発光特性の改善とともに、結晶性が改善されることも明らかにした。さらに、LED表面に微細加工を施し、電流注入発光させ、その発光パターンが微細周期構造に大きく依存した特徴的な直線状光線を示すことを明らかにした。周期微細構造による光の干渉効果により得られたものと考えられ、ナノインプリント法により作製された微細構造の周期性がよい事を示している、これは、ナノインプリント法により作製された周期微細構造を用いて、DFBレーザー実現の可能性があることを示していると思われる。

(3) 発光ダイオードデバイスに対して、発

光特性の3次元的空间分布測定を実施した。実験の結果、通常のプレーナー型発光ダイオードでは、デバイス膜厚に大きく依存した内部反射による干渉効果が空間分布に反映されるのに対し、数百ナノメートル周期をもつ発光ダイオードデバイスでは、プレーナー型とは異なる配向特性が観測された。発光波長依存性等を検討した結果、ナノ微細凹凸による光散乱、周期構造による回折効果および凹凸による屈折現象が発光空間分布に特徴的な構造を示す事が明らかになった。これらの効果により、ナノ周期構造発光ダイオードの光出力が通常プレーナー型発光ダイオードより増大することが説明できる。また、最適なナノ周期構造周期と深さをもち発光ダイオードの作製により配向制御が可能であることを示していると考えられる。

(4) 表面周期構造を有する窒化物光検出器について検討した。通常の検出器は、光強度を電圧あるいは電流により検出するが、この場合、光の入射角度に対しては敏感ではない。ナノインプリント法により表面周期加工した試料に対し、入射角度および波長に対する光電圧の関係を明らかにし、多くの分野で利用できることを示した。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計4件)

- ① Yuji Nariyuki, Masakazu Matsumoto, Takeshi Noda, Katsushi Nishino, Yoshiki Naoi, Shiro Sakai, Atsuyuki Fukano and Satoru Tanaka : Evaluation and re-growth of p-GaN on nano-patterned GaN on sapphire substrate, *physica status solidi (c)*, Vol.7, No.7-8, pp.2121-2123, 2010, 査読有
- ② Yoshiki Naoi, Masakazu Matsumoto, Tianya Tan, Mitsuaki Tohno, Shiro Sakai, Atsuyuki Fukano and Satoru Tanaka : GaN-based light emitting diodes with periodic nano-structures on the surface fabricated by nanoimprint lithography technique, *physica status solidi (c)*, Vol.7, No.7-8, pp.2154-2156, 2010, 査読有
- ③ Jing Zhang, Yoshiki Naoi, Shiro Sakai, Atsuyuki Fukano and Satoru Tanaka : GaN surface nanostructure photodetector based on back side incidence, *physica status solidi (c)*, Vol.7, No.7-8, pp.1804-1806, 2010, 査読有
- ④ Jing Zhang, Yoshiki Naoi, Shiro Sakai,

Atsuyuki Fukano and Satoru Tanaka :
Fabrication and Photovoltaic
Measurements of Surface Nanostructure
of AlGaInN-Based Photodetector,
Japanese Journal of Applied Physics,
Part 1 (Regular Papers & Short Notes),
Vol. 48, pp. 111001-1-111001-5, 2009,
査読有

[学会発表] (計 22 件)

- ① 松本 将和, 福田 弘之, 直井 美貴,
酒井 士郎 : GaN系UV-LEDの偏光特性,
平成 22 年度電気関係学会四国支部連合
大会, 11-14, 2010 年 9 月 25 日, 愛媛大
学
- ② 楠 貴大, 沼島 明菜, 直井 美貴,
酒井 士郎 : ナノ微粒子技術を用いた
GaN表面周期構造の作製, 平成 22 年度電
気関係学会四国支部連合大会, 11-17,
2010 年 9 月 25 日, 愛媛大学
- ③ 和田 祥吾, 直井 美貴, 酒井 士郎,
深野 敦之, 田中 覚 : 金属マスクを施
したサファイア表面周期構造へのGaN成
長と評価, 平成 22 年度電気関係学会四
国支部連合大会, 11-18, 2010 年 9 月 25
日, 愛媛大学
- ④ 松本 将和, 福田 弘之, 直井 美貴, 酒
井 士郎, 深野 敦之, 田中 覚 : 表
面・界面に周期構造を有するGaN系LEDの
配向特性評価, LED総合フォーラム, 69
頁, 2010 年 4 月 17 日, あわぎんホール
(徳島市)
- ⑤ 西野 克志, 澤井 佑介, 成行 祐児, 野
田 丈嗣, 直井 美貴, 酒井 士郎, 深野
敦之, 田中 覚 : ナノ加工GaN基板上再
成長層のTEM観察, 第 57 回応用物理学関
係連合講演会, 19a-TB2, 2010 年 3 月 19
日, 東海大学
- ⑥ Jing Zhang, Takumi Taoka, Yoshiki
Naoi, Shiro Sakai, Atsuyuki Fukano and
Satoru Tanaka : Front and Back Side
Illumination of a Nano-Structured
AlGaInN Photodetector, 2nd
International Symposium on Advanced
Plasma Science and its Applications
for Nitrides and Nanomaterials,
p. PB064C, Nagoya, 2010. 3. 10
- ⑦ 張 晶, 直井 美貴, 酒井 士郎, 深野 敦
之, 田中 覚 : GaN系表面ナノ構造光検
出器, 電子情報通信学会電子デバイス
研究会, Vol. 109, No. 288, 83-87 頁,
2009 年 11 月 12 日, 徳島大学
- ⑧ Yoshiki Naoi, Mitsuaki Tohno, Tianya
Tan, Masakazu Matsumoto, Shiro Sakai,
Atsuyuki Fukano and Satoru Tanaka :
GaN-based Light Emitting Diodes with
Periodic Nano-structures on the
Surface Fabricated by Nanoimprint
Lithography Technique, The 8th
International Conference on Nitride
Semiconductors, p. ThP106, Cheju, Oct.
2009. 10. 22
- ⑨ Yuji Nariyuki, Masakazu
Matsumoto, Yoshiki Naoi, Shiro Sakai,
Atsuyuki Fukano and Satoru Tanaka :
Evaluation and Re-growth of GaN on
Nano-patterned GaN on a Sapphire
Substrate, The 8th International
Conference on Nitride Semiconductors,
p. TP113, Cheju, Oct. 2009. 10. 20
- ⑩ Jing Zhang, Yoshiki Naoi, Shiro Sakai,
Atsuyuki Fukano and Satoru Tanaka :
GaN Surface Nanostructure
Photodetector Based on Back Side
Incidence, The 8th International
Conference on Nitride Semiconductors,
p. TP145, Cheju, Oct. 2009. 10. 20
- ⑪ 直井 美貴 : 紫外線LEDの開発動向と今
後の応用について, 徳島ビジネスチャ
レンジメッセ 2009 LEDコンソーシアム基
調講演, 2009 年 10 月 15 日, アステイ徳島
- ⑫ 直井 美貴, 松本 将和, 譚 天亜, 酒井
士郎, 深野 敦之, 田中 覚 : 表面ナノ
周期構造を有するInGaN-LEDからの輻射
光空間分布特性, 第 70 回応用物理学会
学術講演会, 11a-X-8, 2009 年 9 月 11 日,
富山大学
- ⑬ 張 晶, 直井 美貴, 酒井 士郎, 深野 敦
之, 田中 覚 : 裏面入射GaN系表面ナノ
構造光検出器, 第 70 回応用物理学会学
術講演会, 11a-E-9, 2009 年 9 月 11 日,
富山大学
- ⑭ 成行 祐児, 松本 将和, 直井 美貴, 酒
井 士郎, 深野 敦之, 田中 覚 : ナノ
加工を施したGaN上への再成長及びその
評価, 第 70 回応用物理学会学術講演会,
8p-F-2 頁, 2009 年 9 月 8 日, 富山大学
- ⑮ Jing Zhang, S. Okuno, Yoshiki Naoi,
Shiro Sakai, Atsuyuki Fukano and
Satoru Tanaka : The surface
nanostructure photo-voltaic property
of GaN-based photodetector,
Asia-Pacific Workshop on wide gap
Semiconductors (APWS 2009), p. M03-7,
Zhangjiajie (China), 2009. 5. 25
- ⑯ 直井 美貴 : LEDの光出力改善技術, 技
術情報協会:LED照明の高輝度・長寿命化
技術セミナー, 2009 年 5 月 21 日, 大田
区産業プラザ
- ⑰ 直井 美貴, 酒井 士郎, 深野 敦之, 田
中 覚, 納田 卓, 木村 真大, 川野 俊
輔, 村本 宜彦 : サファイア上周期的
ナノ構造を形成するためのナノインプ

リント技術開発とGaN系LED, 第 56 回応用物理学関係連合講演会, 1p-ZJ-10, 2009年4月1日, 筑波大学

- ⑱ 遠野 充明, 直井 美貴, 酒井 士郎, 深野 敦之, 田中 覚 : ナノインプリント技術により周期的ナノ構造を形成したGaN系光デバイスからのEL特性, 第56回応用物理学関係連合講演会, 1p-ZJ-11, 2009年4月1日, 筑波大学
- ⑲ 張 晶, 遠野 充明, 奥野 誠亮, 直井 美貴, 酒井 士郎, 深野 敦之, 田中 覚 : GaNナノ加工pnダイオード光検出器, 第56回応用物理学関係連合講演会, 1a-ZJ-30 頁, 2009年4月1日, 筑波大学
- ⑳ 成行 祐児, 松本 将和, 遠野 充明, 直井 美貴, 酒井 士郎, 深野 敦之, 田中 覚 : ナノ加工を用いたGaNのC-V特性, 第56回応用物理学関係連合講演会, 30p-ZJ-3 頁, 2009年3月30日, 筑波大学
- ㉑ 遠野 充明, 張 晶, 直井 美貴, 酒井 士郎, 和地 順蔵 : ナノインプリント技術により周期的微細構造を施したGaN系デバイスからの電流注入発光特性, 電子情報通信学会電子デバイス研究会, Vol. ED2008-158, 2008年11月20日, 名古屋工業大学
- ㉒ 遠野 充明, 直井 美貴, 酒井 士郎, 和地 順蔵 : ナノインプリント技術によるサファイア基板上へのナノ構造の形成, 平成20年度電気関係学会四国支部連合大会, 11-3 頁, 2008年9月27日, 徳島大学

6. 研究組織

(1) 研究代表者

直井 美貴 (NAOI YOSHIKI)

徳島大学・大学院ソシオテクノサイエンス研究部・

准教授

研究者番号 : 9 0 2 5 3 2 2 8

(2) 研究分担者

酒井 士郎 (SAKAI SHIRO)

徳島大学・大学院ソシオテクノサイエンス研究部・

教授

研究者番号 : 2 0 1 3 5 4 1 1

(3) 連携研究者

()

研究者番号 :