

### 2.4.3 機能性材料の結晶化と応用に関する研究

吉村政志

電気電子情報工学専攻・准教授

#### 2.4.3.1 はじめに

次世代電子デバイス開発において、様々な分野で機能性結晶が重要な役割を担っている。担当者らの研究グループでは結晶育成をコア技術として、半導体基板等の微細加工用レーザ、マスク欠陥検査用レーザ光源に用いられる非線形光学結晶の開発、次世代パワーデバイスや高輝度LED、LD等の開発に不可欠な低転位窒化物半導体基板結晶の開発、有機FET用単結晶作製技術の開発、及びテラヘルツ波光源用の有機非線形光学結晶の開発を行っている。本年度は、紫外光発生用結晶の開発と応用、窒化物半導体結晶の開発の現状について簡単に報告する。

#### 2.4.3.2 非線形光学結晶の高品質化と新型紫外レーザ光源の開発

ホウ酸系非線形光学結晶 $\text{CsLiB}_6\text{O}_{10}$  (CLBO) は、波長300nm以下の紫外光を高効率で発生できることが知られている。独自開発した育成技術により従来に比べてレーザ損傷耐性、均質性などが向上し、ベンチャー企業への技術移転を通して製品化に至っている。一方で、産業界での高出力化・短波長化の需要を受け、結晶の損傷機構の解明と波長変換性能の向上が継続して求められている。最近、結晶内部に含まれる水不純物を低減させることで、紫外光発生時の自己吸収と熱位相不整合が抑制できるという新しい知見を見出した。発熱メカニズムは現在も解明できていないが、この脱水状態の波長変換デバイスによって、良質なビーム品質の紫外光が得られ、温度条件も一定で、安定した出力の連続運転ができることが分かった。レーザ微細加工装置の開発を進めている三菱電機(株)との共同研究では、脱水CLBOの組み合わせによって波長213nmの紫外光の世界最高出力10.2W(従来CLBOの約2倍)が達成できた(CLEO/Europe 07 CA5-3-TUE)。これら育成・デバイス技術の開発と並行し、本年度は以下の新型レーザ光源の開発にも取り組んだ。

アリゾナ大との共同研究では、発振波長の設計自由度を有し、高出力化に適した新しい光励起方式InGaAs系垂直外部共振器面発光半導体レーザ(Vertical External Cavity Surface Emitting Laser, VECSEL)によって連続波・単一周波数の976nm光を発振させ、その第2高調波発生(SHG)によって気体 $\text{Ar}^+$ レーザと同一波長の488nm青色光を得た(最高出力1W)。さらに、上記CLBOによって2段目の外部共振器SHG(図2.4.3.1)を行い、励起光635mWから出力215mWの244nm紫外光を得ることができた(CLEO2008 CPDA2)。応用例として、光ファイバーへのFBG作製も実施した。本方式による紫外光発生は世界初の試みであり、VECSELを用いた新しいタイプの全固体紫外レーザが、今後活発化することが期待される。

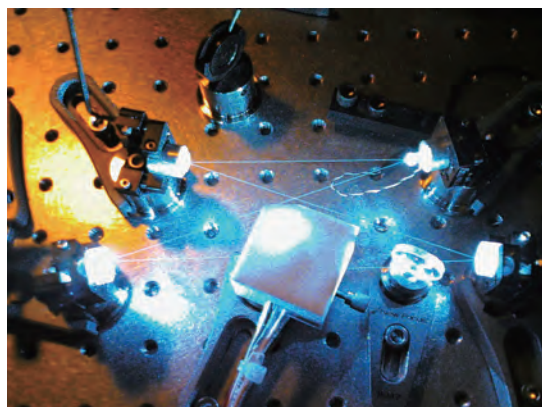


図 2.4.3.1 連続波 244nm 光発生用共振器。

また、汎用のNd:YAGレーザを基本光源として、内部共振器型SHGを組み込んだ波長選択性OPOを開発し(OL 33, 231 (2008)), そのSHG光により上記と同様の244nm光のパルス紫外光源を開発した. さらにもう1段階CLBOを和周波発生に用いて, 真空紫外領域の198.5nm光(平均出力12mW@PRF1kHz)を得ることに成功した(CLE008 CThW4). 基本波からの変換効率は1%であった.

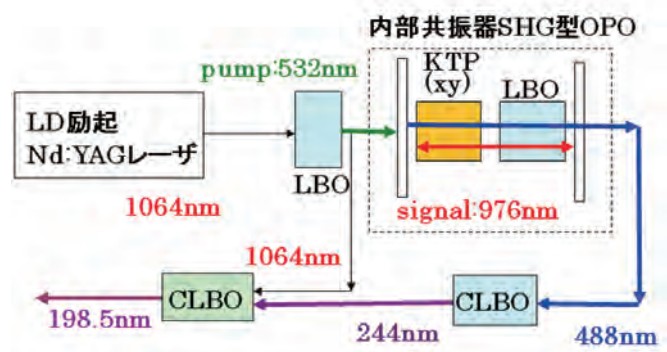


図 2. 4. 3. 2 198.5nm 光発生構成図.

図2. 4. 3. 2は198.5nmまでの波長変換プロセスと, 用いた非線形光学結晶を示す概略図である. これら2つの光源は赤外光の発振波長に設計自由度を持たせており, 用途によって所望の紫外光波長が得られる点が特徴である.

#### 2. 4. 3. 3 LPE技術を用いた高品質GaN結晶成長

Naフラックス法によるLPE技術を用いて, MOCVD-GaNの基板からGaNの厚膜成長を行った. 転位密度 $10^8 \sim 10^9 \text{cm}^{-2}$ オーダーであった基板は, LPE開始後数ミクロン程度のファセット成長の間に転位の束ね合いが生じ, 転位密度が2桁程減少する. 1mm程度まで厚く成長させた結晶では, 基板結晶に比べて転位が4桁減少することが実験で確かめられていたが, 低減メカニズムは明らかになっていなかった. 今回, エッチングによって転位の挙動を追跡した結果, ファセット会合によって低転位領域が優先成長し, 厚膜化に従って低転位化することが分かった. 初期成長からの転位減少の様子を図2. 4. 3. 3に示す. 図2. 4. 3. 4は2インチc面基板から2mm厚の透明で平坦性に優れたGaN結晶が得られた結果である(外周部には黒色の多結晶が析出している). 面内では高転位領域でも $10^4 \text{cm}^{-2}$ オーダー, 低転位領域で $10^2 \text{cm}^{-2}$ オーダーのファセットが出現しており, 低転位領域が優勢になっていることも明らかになった(応物08春27aB3他). これらの結晶基板は, 高輝度LDやLED, 高耐圧を必要とする新型パワーデバイスなどへの応用が期待できる. また, Naフラックスに対して少量の炭素を添加すると, 気液界面での自然核発生が抑制され, LPEが高収率で長時間継続できることに加え, ノーマリーオフパワーデバイスが期待される無極性のM面成長が優勢に成長することも分かった. LPE成長のM面においても結晶性が向上することが確認できており, 今後はデバイス評価も行う予定である.

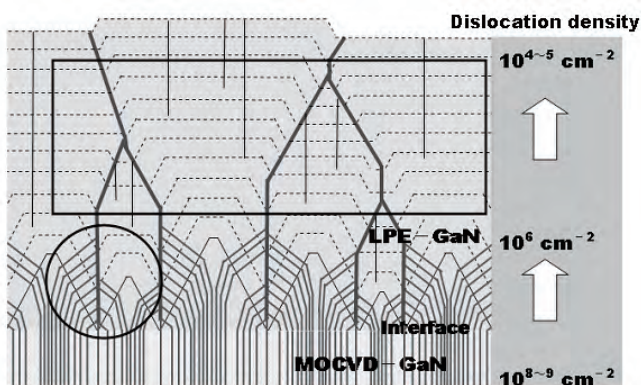


図 2. 4. 3. 3 Na フラックス法における2段階転位減少プロセス.

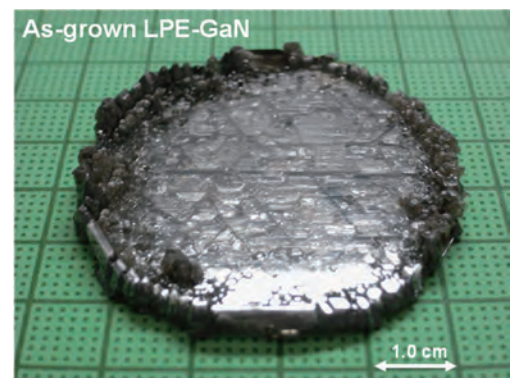


図 2. 4. 3. 4 LPEにより得られたGaN結晶.