



窒化物半導体用新基板 ScAlMgO₄の開発

半導体レーザー、発光ダイオード(LED)およびトランジスタなどの半導体素子は、基板結晶上に格子整合条件下で積層された薄膜結晶層からなっている。この格子整合によって、欠陥の少ない高品質結晶の成長が実現されている。半導体素子において、結晶欠陥はしばしば致命的となる。今年のノーベル物理学賞に輝いた青色LEDはGaNを主とする窒化物半導体からなっているが、高品質・廉価なGaN単結晶基板が存在せず、青色や白色のLEDは(0001)面サファイア基板上に作製されている。この場合、貫通転位と呼ばれる欠陥が $10^8/\text{cm}^2$ 以上含まれており、従来からある素子に較べて5桁多い。窒化物半導体からなる素子特性の改善のためには、結晶品質の改善が急務である。

窒化物半導体の研究が盛んになってきた1980年代から、東北大学松岡教授(元NTT)をはじめとして、表1に示す種々の基板が検討されてきた。SiCについては、4インチ基板が作製されている。しかし、成長速度が遅いため、その価格は、サファイアに較べて100倍程度高い。また、大型化に関しては、結晶構造に多形が多いことと、マイクロパイプと呼ばれる結晶欠陥

表1 窒化物半導体用基板結晶

基 板	ミスマッチ (%)	
	格子定数	熱膨張数
(0001)Al ₂ O ₃	13.8	-25.5
(0110)Al ₂ O ₃	-1.9, 2.6	9, 62
(0001)6H-SiC	3.4	25
(101)NdGaO ₃	1.2	20.6
($\bar{2}01$)Ga ₂ O ₃	10.1	...
(111)MgAl ₂ O ₄	9.5	...
(001)LiGaO ₂	+0.2, 2.2	+19.5, 73.5
(001)ScAlMgO ₄	-1.9	-37.4, -10.9
(0001)ZnO	-1.9	48
(0001)LaBGeO ₅	-9.7	...

$$\text{ミスマッチ} = \frac{\text{GaN}-\text{基板}}{\text{GaN}}$$

が多いことから、サファイア基板が10インチ成長できているのに対して大型化が困難である。表1には、各種酸化物結晶を示す。これらの結晶は、概して、窒化物半導体の薄膜成長に用いる有機金属相成長(MOVPE)での窒素原料としてのアンモニアガスや有機金属原料の輸送に用いる水素ガスなどの還元雰囲気(還元)に弱い。このような状況の中で、格子不整合の小さい基板として、ScAlMgO₄が開発された。この材料は、米国のAT&T社のBELL研究所から1995年のMaterials Research Society Meeting(米国材料学会会議, MRS)で発表された。当時は、

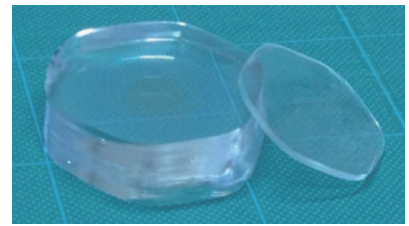


図1 ScAlMgO₄結晶

単結晶もできていなかったが、後に単結晶成長が実現された。しかしながら、大型化が難しかった。そのため、大型結晶の成長技術の開発を得意とする福田結晶技術研究所(仙台市、福田承生社長)に米国から共同研究が持ちかけられ、大型化の研究が進められた。現在では、図1に示すように、直径2インチのバルク結晶の成長に成功している。この結晶の特長である劈開性を利用して基板を作製できる。そのため、通常の基板作製には避けて通れない切断や研磨を必要とせず、基板の作製コストを低減できる。この基板上に、MOVPE法を用いてGaN薄膜が成長されている。還元雰囲気に対する耐性があることも確認されており、今後、高品質窒化物半導体成長が期待される。

(東北大学 金属材料研究所 教授 松岡隆志
〒980-8577 宮城県仙台市青葉区片平2-1-1,
E-mail: matsuoaka@imr.tohoku.ac.jp)
URL: http://www.matsuoka-lab.imr.tohoku.ac.jp/

[2014年11月11日]

1兆分の1秒以下の世界を 捉える連写カメラ

東京大学の合田圭介教授、佐久間一郎教授、中川桂一特別研究員、慶應義塾大学の神成文彦教授らは、Sequentially Timed All-optical Mapping Photography (STAMP)と呼ばれる新しい超高速カメラを開発し、1兆分の1秒を超える撮影速度にて動画を取得することに成功した。

科学において高速撮影は動的現象を研究する極めて有用な手法である。しかしながら、既存の超高速カメラは機械的・電気的動作の限界から撮影速度がナノ秒オーダーに制限されており、将来的にも超高速動的現象を捉えることが困難である。一方で、より高速な現象の疑似的動画を得る手法としてポンプ・プローブ法が用いられるが、この手法は動画をつくるために繰り返し撮影が必要であり、一度きりしか起こらない非反復的な現象を捉えられない。

今回開発したのは、光を時間的・空間的に制御することで動画を撮影するという、既存の超高速カメラとは異なる動作原理に基づく超高速撮影システムであり、従来ボトルネックとなっていた電気的・機械的な動作を排除することで、サブナノ秒の複雑ダイナミクスを、連続画とし

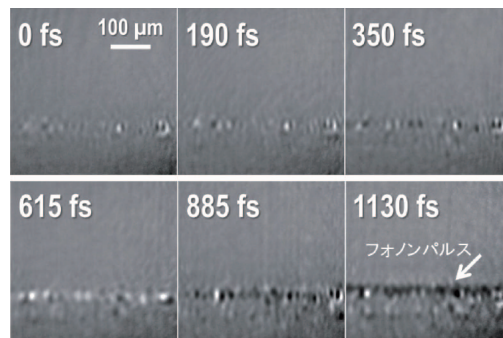


図 擾乱からフォノンパルスが生まれる瞬間
フレーム間隔 229fs (4.37Tfps) にて撮影

てシングルショットで撮影することができる。

この原理を実証するため6枚の連続画を取得するシステムを立ち上げ、65.4Gfpsの撮影速度にてレーザーアブレーションを、1.23Tfpsおよび4.37Tfpsの撮影速度にてフォノン・ポラリトンの超高速ダイナミクスをシングルショットで連続的に取得することに世界で初めて成功した。

本手法は、巨視的なものから微視的なものまで、従来手法では捉えることができなかった超高速複雑ダイナミクスを連続画としてシングルショットで可視化することができる。今後、破

壊現象、化学反応、プラズマ現象、物質中の電子や熱の移動、スピン波や光の伝播などさまざまな超高速現象を観察できる可能性を持ち、研究開発において多くの未知の現象の発見や解明に貢献することが期待される。

(東京大学大学院理学系研究科 中川桂一・合田圭介 連絡先: 〒113-0033 東京都文京区本郷7-3-1, E-mail: knakagawa@chem.s.u-tokyo.ac.jp, goda@chem.s.u-tokyo.ac.jp)

URL: http://www.goda.chem.s.u-tokyo.ac.jp

[2014年11月13日]