

アレキサンドライトレーザーの二倍波による レーザーアニーリング用長パルス紫外レーザー

A long pulse UV laser based on SHG of an alexandrite laser for laser annealing

田中俊也(B4), 橋本浩平(D3)

T. Toshiya and K. Hashimoto

Abstract

We have developed a long pulse UV laser for laser annealing. The laser was achieved by intra-cavity frequency doubling of a flash lamp-pumped alexandrite laser. Maximum UV(380nm) laser energy of 14 mJ was achieved with 150 μ s pulse, whereas maximum laser energy of the fundamental wavelength was 800 mJ.

1 はじめに

レーザーアニーリングは、液晶ディスプレイの高性能化の為に多結晶シリコン薄膜トランジスタ(Poly-Si TFT)の作製技術などに用いられている[1]。現在のレーザーアニーリングでは Si の結晶化過程で小さな結晶粒などが出来てしまい、これらは Poly-Si TFT の性能を悪くする原因となる。また、LSI はさらなる集積化のために、半導体の微細化によるゲート長の縮小が年々進んでいる。これが原因として起こる短チャネル効果の問題を抑制する為のソース・ドレイン部の極浅接合もレーザーアニーリングによって行われている。微細化は半導体分野における重要な問題であって、問題解決の為に技術のひとつとされている。

また、レーザーアニーリングを用いて大きな結晶粒を生成し、より高品質な多結晶シリコンの作成技術が求められている。小さな結晶粒が出来る原因は、レーザーによる極短時間の急激な加熱・溶融によってシリコンが過冷却状態に陥り、それによって急激な結晶成長及び高密度な結晶核の生成の為にである[2]。

レーザーアニーリングは、Siの吸収係数が大きい紫外域での波長で行われることが多い。そのために、固体レーザーよりもエキシマレーザーが多く使用されている。これは固体レーザーに紫外域の固体レーザーは非線形結晶などを用いた波長変換をしなければならないために効率が悪いからである。しかし、固体レーザーはメンテナ

ンス面、安全面、安定性など多くの点でエキシマレーザーよりも優れており、CW や長パルスでの発振も可能である。そこで、我々は固体レーザーの中でも基本波の発振波長が 755 nm 付近と比較的短く、長パルスでの発振が容易なアレキサンドライトレーザーに注目した。

本研究では、パルス幅が数百マイクロ秒程度の紫外域長パルスレーザーを得るために、フラッシュランプ励起アレキサンドライトレーザー及びその二次高調波の開発を行った。このような長パルスレーザーでアニーリングを行うことで、問題となっている過冷却状態を防ぐことができ、大きな結晶粒の作成などに応用できると考えられる。

2 実験

今回開発した長パルス紫外レーザーは、Fig.1 に示すように、フラッシュランプ励起のアレキサンドライトレーザーを共振器内 SHG によって得られるような構成になっている。出力ミラーには 760 nm 全反射、380 nm 透過のものを、リアミラーには、760 nm、380 nm 全反射の凹面ミラー (R=2000 mm) を用いた。複屈折フィルタは発振スペクトルを狭帯域化することで波長変換の効率を良くする為である。二次高調波発生には、厚さ 5 mm、 $\theta=31.5^\circ$ でカットされた BBO 結晶を用いた。また、基本波でのレーザー発振では、BBO 結晶を外し、出力ミラーに 760 nm での反射率が 95% と 90% の二種類を用いた。

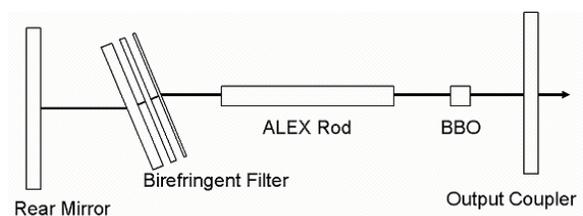


Fig.1: Alexandrite laser cavity configuration

アレキサンドライト結晶及びフラッシュランプはそのまわりに冷却水を流すことで冷却を行い、その冷却水はラジエータに取り付けたファンで冷却を行った。アレキサンドライトレーザは温度が高いほど出力が高くなるレーザであるため、冷却をそれほど必要としない。また、高温下ではイオン交換フィルタ等の冷却水系の装置にダメージがはいる恐れがあるので、冷却水の温度は40度付近に保った。

3 実験結果

Fig.2 は出力ミラー90,95%のそれぞれで300 μs のパルス電流で励起したときの基本波の出力特性である。基本波のフリーランニング状態では出力ミラーの反射率が90%のときにパルス幅200 μs,出力エネルギー800 mJ を得ることが出来た。閾値は10 J, 効率は2.7%である。Fig.3 は出力ミラー90%のものを使用し、300 μs のパルス電流を流し、フラッシュランプへの入力エネルギーは40.3 Jのときの基本波の時間波形である。スパイク状の波形が観測され、これは緩和発振によるものであると考えられる。

Fig.4 は300 μs のパルス電流で励起したときの二倍波の出力特性である。二倍波ではパルス幅150 μs, 出力エネルギー14 mJ を得ることが出来た。閾値は18J, 効率は0.09%である。Fig.5 は300 μs のパルス電流を流し、フラッシュランプへの入力エネルギーは40.3 Jのときの二倍波の時間波形である。これも基本波と同様のスパイク状の波形が観測された。また、基本波、二倍波ともに繰り返し周波数は10 Hz である。

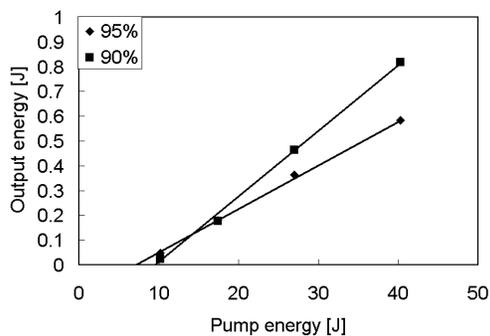


Fig.2: Output energy of the alexandrite laser as function of the 300 μs flash lamp input energy.

Fig.6 はフラッシュランプへの入力電圧波形である。パルス電流幅が最大の300 μs で、電圧を変化させたときの電圧波形であって、最大のV=10のときに55.4Jの入力エネルギーを得ることが出来る。

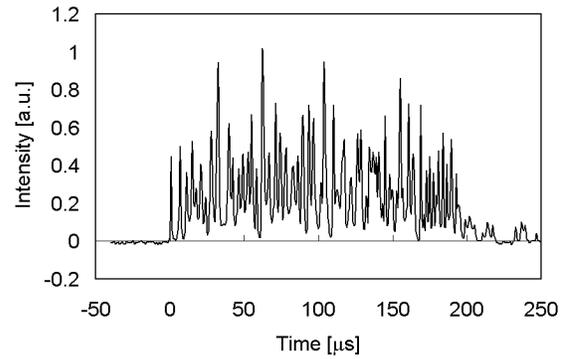


Fig.3: Output waveform of the alexandrite laser (300 μs, 40.3 J)

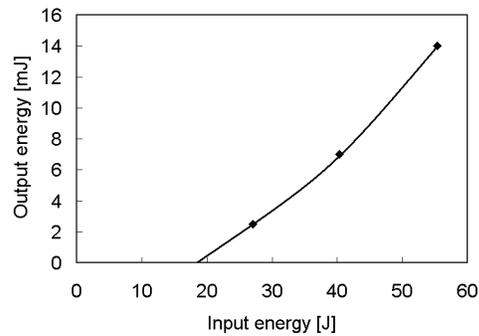


Fig.4: Second harmonics output energy of the alexandrite laser as function of the 300 μs flash lamp input energy.

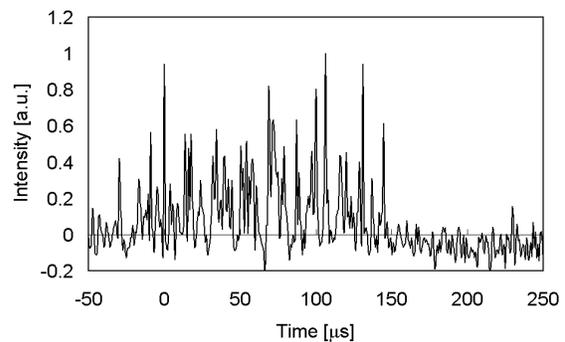


Fig.5: Alexandrite laser output waveform(2ω) at 300 μs, 40.3 J

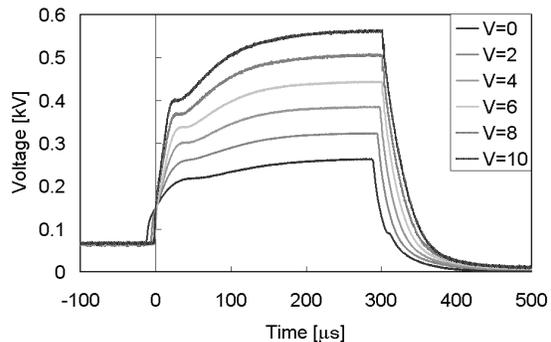


Fig.6: Voltage waveforms of 300 μ s flash lamp power source.

4 結論

本研究ではフラッシュランプ励起のアレキサンドライト共振器内部 SHG レーザの開発を行った。

今回開発したアレキサンドライトレーザは，Nd:YAG の 3 倍波と比較して波長変換が 1 回で済むので光 - 光変換効率が良いと予想したが，パルス幅が長いので変換効率は上がらず，実際のアニーリングが可能なほどの出力は得ることは出来なかった。

また，マイクロ秒の長パルスであるために，一般的に行われているナノ秒のレーザアニーリングと比較して，短時間でエネルギーを Si に与えることが出来ないため，より高いエネルギー密度が必要となる。よって，現段階の二倍波の出力ではアニーリングを行うことは難しい。そこで，ナノ秒レーザとの重畳照射による方法も考えた。これは，ナノ秒レーザで加熱・溶融をさせて，その後の過冷却状態を防ぐ為にマイクロ秒の弱いレーザを照射することで過冷却状態を防ぐというものである，このようにマイクロ秒紫外レーザによるアニーリングの手法が考えられ，今後これらによるアニーリングが可能であると思われる。

References

- [1] K. Azuma et al: レーザ研究, 34, 679 (2006)
- [2] S. Higashi et al: Jpn. J. Appl. Phys., 38, L57 (1999)
- [3] J. S. Im et al: Appl. Phys. Lett., 63, 1969 (1993)