

# 超高速赤外レーザーバーストで 半導体チップ内の書き込みを実現

サリー・コール・ジョンソン

研究者らは、半導体材料の内部埋め込み型構造の製造に取り組んでいる。これは半導体製造を、3Dレーザー書き込み法により、おおむね2次元の世界から高密度の3次元集積デバイスへと移行させる可能性を実証している。

フランス国立科学研究センター LP3 研究所の研究チームは、シリコンやガリウムヒ素製の半導体チップの3次元空間上の任意の場所に3Dレーザーで書き込める手法を開発した。これにより、マイクロエレクトロニクス産業において、ようやくこれらの材料のウエハ表面層全体を有効に活用できるようになり、飛躍的な進歩となる。

超高速レーザーの強い光が半導体内部に集光されると、ビーム経路に沿った非線形電離の大きな影響で不透明なプラズマが生じ、材料の書き込みに必要なエネルギーの局在化が阻害される。

しかし、研究チームの手法では、超高速バーストパルスを用いることで、こうした非線形の大きな影響を回避できる(図1)。

「当所が使用するバーストは、テラヘルツの繰り返し率を持っており、2つの隣接するパルス間の時間がサブピコ秒レベルだということである」と、LP3研究所の博士研究員であるアンドン・ワン氏(Andong Wang)は言う。

このタイムスケールは非常に短く、まばたき時間の十億分の一よりも短いものだ。レーザーエネルギーは、この超高速バースト効果によって、材料改質

が生じるまで、パルスごとに効率的に蓄積できる。そして、さまざまな半導体内部に3次元構造を書き込むことができるようになった。

「当所では、半導体チップに適用可能な3Dレーザー書き込み技術の開発という長年の課題に向けて、研究を進めている。これは、半導体製造において、現在の製造用リソグラフィプレーナ技術を使用する2次元の世界から、高密度の3次元集積デバイスへと移行させる可能性を秘めている」と、同研究のチームリーダーであるデービッド・グロホ氏(David Grojo)は述べる。

## 3Dレーザーによる書き込み

最初のターゲットとして、同研究チームは、超高速赤外レーザーを用いて半

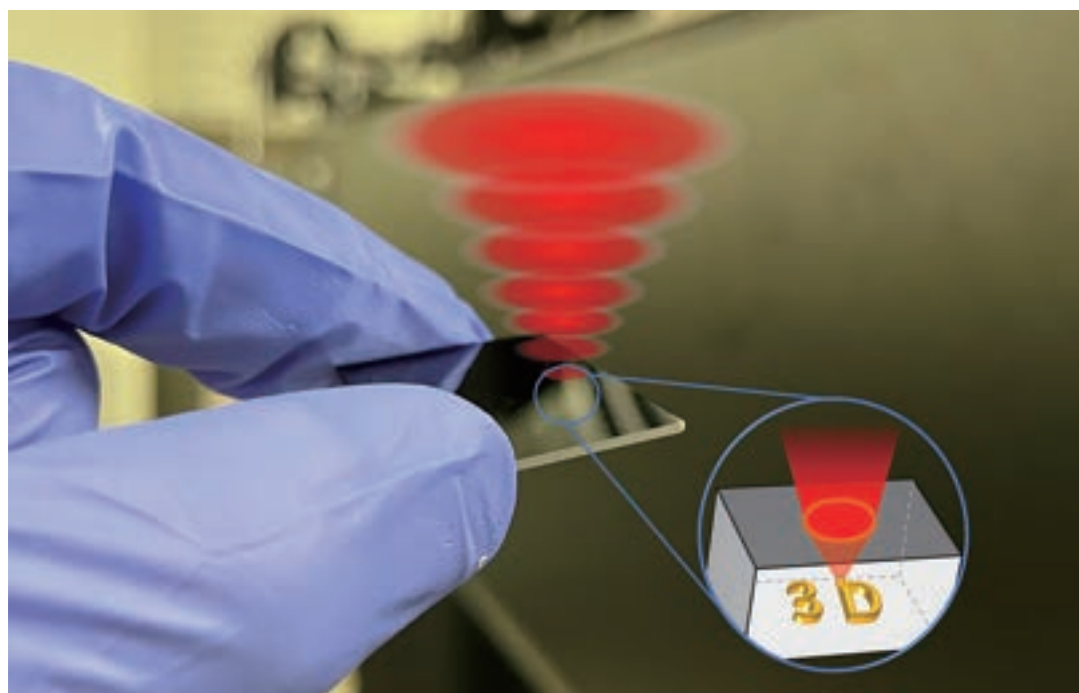


図1 研究チームは、超高速赤外パルスのエネルギーを分割して、強度の低いパルスの超高速バーストを形成し、励起の局在性を向上させた。「十分に高速な」バーストを用いることで、材料改質を引き起こすのに十分なエネルギーを蓄積し、半導体チップ内部に新しい機能を追加できる(画像提供: アンドン・ワン氏、ポール・ソペーニャ氏、デービッド・グロホ氏)

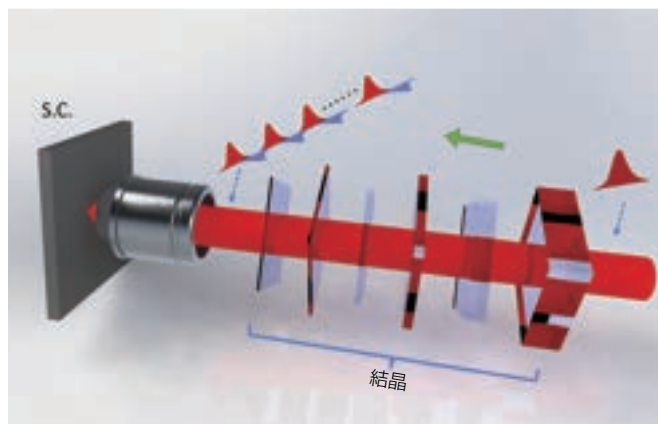


図2 史上最速のフェムト秒パルス列(バースト)を発生させるために設計された結晶の配置を簡略化した模式図

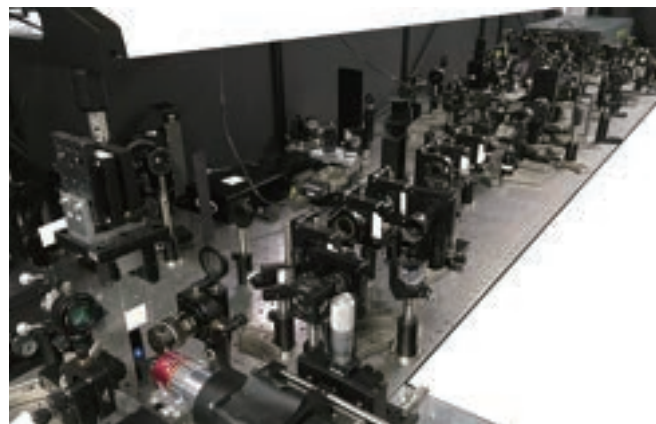


図3 超高速赤外光による半導体内部のマルチタイムスケール制御とバーストモード照射のために、同研究チームが開発した実験装置

導体材料内部の構造を製造する技術を実証した(半導体材料は、今日の従来の超高速レーザーでは3次元加工ができない)。

「当研究の基本は、レーザー直接描画(LDW)法という重要な技術だ。この技術では、極めて強いレーザー光を材料内部に集光し、材料を『書き込み』ができる。レーザーと集光面は共に慎重に設計されているため、『書き込み』プロセスは高度に制御され、材料内部に3次元構造を形成できる」と、ワン氏は言う。

このためには、半導体内部の3次元加工に標準的な通信用または短波赤外線(SWIR)の波長を使用する。この波長は材料を透過するので、半導体は完全に透過性を持つようになる。

欧州のホライズンプロジェクト「超高速レーザーによる材料改質の極限光制御(Extreme-Light-Seeded Control of Ultrafast Laser Material Modifications)」の一環として、同チームはこれまでの研究を継続し、現在のレーザー加工のスペクトルを紫外線から赤外線、さらに長波長へと範囲を拡張させている。

LDW技術は新しいものではなく、ガラス材料での3次元構造の製造に、すでに広く用いられていることは重要

視することである。しかし、LDW技術を半導体に適用すると、ガラスとは全く異なる材料反応が得られる。

「ナローギャップ半導体には、非線形伝搬の影響が大きいといった固有の特性があるため、材料の書き込みが非常に困難だ。この特性により、半導体を恒久的に改質するのに十分なエネルギーの局在化が阻害されてしまう。」とワン氏は述べる。

今回の研究で最も優れている点は、極めて高い繰り返し率を実現し、半導体内でのレーザー伝搬中の非線形性の問題を解決したことだろう。

また、もう1つの興味深い点は、巧妙に設計された結晶の配置によって、史上最速のフェムト秒パルス列を実現したことだ(図2)。バーストモード照射(図3)による機械加工や切削などの高性能レーザー加工の利用が拡大しているため、同研究チームは、この実証がシンプルでコンパクトな技術ソリューションとして、他の研究者の刺激になることを期待している。

同研究チームによって半導体内部に3次元構造を形成する技術が実証されたことで、マイクロエレクトロニクスの多彩な用途への扉が大きく開かれた。

「修正ボクセルの3Dアレイに書き込

む可能性はすでに実証されており、その書き込みによって、マイクロエレクトロニクスチップの基板材料(プラットフォーム)であるシリコン内部のあらゆる場所で新しい光データストレージ技術を直接活用できるようになる」とグロホ氏は言う。「短期間の用途では、新しいウエハ処理ソリューションに使用されるだろう。例えば、制御可能な3D手法で欠陥を作成する方法は、チップを非常に効率的に切削する用途に適用できる」。

次の研究ステップは、「実現している改質の特性の解明と、こういった材料内部の改質の種類を制御できる方法の開発に焦点を置くことだ」と、グロホ氏は述べる。「この問題は、屈折率工学にとって重要だ。シリコンフォトリニクスの重要性が高まってきていることを考えると、屈折率工学は間違いなく重要な目標である。レーザーによる書き込みには、現在の製造技術では到達できない3次元アーキテクチャのモノリシック・フォトリニクスシステムを、直接かつデジタル化して製造できる唯一の可能性がある。将来的には、こういった新しいレーザー様式は、高度なマイクロチップの製造方法を劇的に変える可能性を秘めている」。