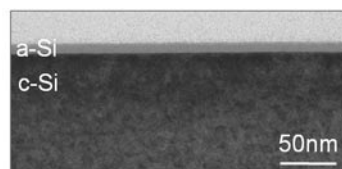


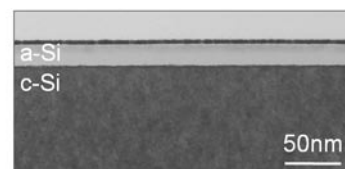
CONTENTS

- フェムト秒パルスによるSiの相転位
～レーザー波長依存性～
- ファイバによる高出力パルス伝送技術の開発
- 【光と蔭】ひ弱化する人びと
- レーザー超音波リモートセンシング装置の
新聞発表とシンポジウム開催
- 主な学会報告予定

【表紙図】アモルファス化されたSi
ウェハの断面TEM(透過型電子顕
微鏡)像の照射レーザー波長依存性



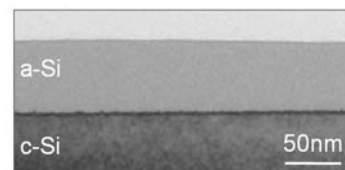
照射波長267 nm (a-Si厚: 7 nm)



照射波長400 nm (a-Si厚: 17 nm)



照射波長800 nm (a-Si厚: 42 nm)



照射波長1550 nm (a-Si厚: 63 nm)

フェムト秒パルスによるSiの相転位 ～レーザー波長依存性～

レーザー加工計測研究チーム 藤田雅之
井澤友策

大阪大学大学院工学研究科環境・エネルギー工学専攻

◆フェムト秒パルスをSiに照射すると

これまで、フェムト秒パルスを単結晶Siに照射することにより極薄かつ高密度のアモルファス層が形成されることを報告してきた(レーザークロスNo.228)。不思議なことに、ある一定の照射フルーエンスの範囲でのみアモルファス化が発生する。また、そのフルーエンスの範囲はアブレーションしきい値やナノ周期構造の形成しきい値よりも低い。

一方、単結晶Si(c-Si)ウェハ上にアモルファスSi(a-Si)をスパッタリングで積層してフェムト秒レーザー照射を行うと、これも、またある一定の照射フルーエンスの範囲でa-Siの再結晶化が起きる。そのフルーエンスの範囲はアモルファス化のしきい値よりも低い。また、この再結晶化は基板の単結晶ウェハから進行しており、エピタキシャル成長であると推測されている。

◆レーザー波長を変えるとどうなる？

フェムト秒パルスによるSiの相転位に関しては、物理モデルを確立するために現在研究を継続中である。照射フルーエンス依存性、照射回数依存性、照射レーザーパルス幅依存性、表面状態の高速変化等々を調べている。ここでは、照射レーザー波長依存性について紹介する。

◆アモルファス化のレーザー波長依存性

表紙図に、照射レーザー波長を267nm、400nm、

800nm、1550nmと変えた時に単結晶Siウェハ表面に形成されるアモルファス層の断面TEM(透過型電子顕微鏡)像を示す。均一かつシャープな界面を持ったアモルファス層が形成される。照射レーザー波長が短くなればなるほど、光侵入長が短くなり、アモルファス層の厚みは薄くなる。267nm光照射の場合には厚さ7nmの極薄層が形成される。この層の厚みは照射フルーエンスや照射ショット数に依存せず、波長だけに依存する。

◆超短パルスは透過波長も吸収される

表紙図の中でも興味深いのは、通常なら透過する波長1550nmのレーザー照射でも表面にアモルファス層が形成されることである。これは、超短パルスをSiに照射すると瞬間的に表面にキャリア(電子-ホール)が生成され、光にとっては多くの自由電子を持つ金属と同じ状態になることに起因する。波長1550nmの超短パルス光にとって実効的な光侵入長は100nm以下になる。

◆アモルファス化のしきい値

ある一定の照射フルーエンスの範囲でのみアモルファス化が発生するが、その下限すなわちしきい値も照射レーザー波長に依存する。照射波長が267nmの時36mJ/cm²、400nmの時60mJ/cm²、800nmの時180mJ/cm²、1550nmの時190mJ/cm²となることが実験的に確認されている。波長が短くなるほど光侵入長も短くなり、しきい値も低下し単位体積当たりにも吸収される

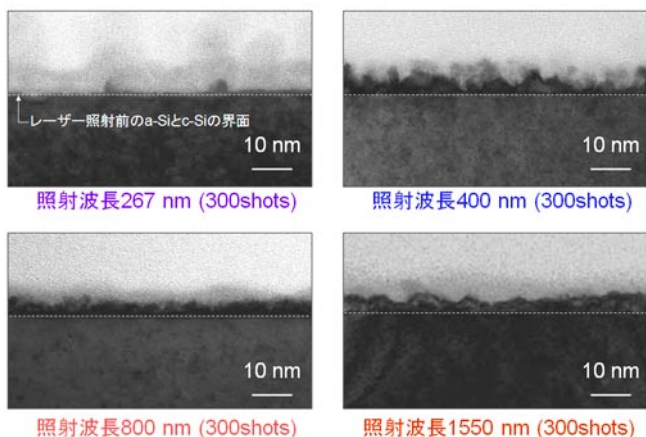
次ページへつづく▶

フェムト秒パルスによるSiの相転位～レーザー波長依存性～

エネルギーは約30kJ/cm²と見積もることができる。Siの融解に必要な単位体積当たりのエネルギーは約5kJ/cm³であり、約6倍のエネルギー吸収でアモルファス化が起きていることになる。

◆再結晶化のレーザー波長依存性

単結晶Siウェハ上にa-Siをスパッタリングで8nm積み上げてレーザー照射を行い、再結晶化の可能性を観察した。照射部断面のTEM像を図1に示す。再結晶化はアモルファス化ほどには綺麗に起きないことが分かつ



【図1】再結晶化が進むアモルファスSi層の断面TEM像の照射レーザー波長依存性。照射波長267nmでは再結晶化が進んでいない。

た。特に、照射波長267nmの場合には、光侵入長が短すぎてほとんど再結晶化は起きていない。波長が長いほど光が奥まで届き、基板の単結晶もるとも熔融しエピ成長が進んだものと考えられる。

◆徐々に成長する再結晶化

アモルファス化とは異なり、再結晶化はパルス照射を重ねるごとに成長していくことが実験的に確認されている。フェムト秒レーザー吸収はSiにとって究極のRTA(ラピッドサーマルアニーリング)と言えるのではないかと。再結晶化のしきい値に関しては、400nmの時30mJ/cm²、800nmの時100mJ/cm²、1550nmの時130mJ/cm²となる。短波長ほどしきい値は低下するが、エピ成長の様子を考慮すると長波長の方が有利であると言える。

◆求む、産業応用

このフェムト秒パルスによるSiの相転位であるが、未だに明確な産業応用は見えていない。モノがSiだけに何かに使えると信じている。また、モノがSiだけにユーザーが幅広いことを考慮して知財権を取らずに成果を全てオープンにしてきた。どこかで誰かにこの研究成果を活用して欲しいと思ってやまないところである。(レーザークロスのバックナンバーはホームページからダウンロードできます。)

TOPICS

ファイバによる高出力パルス伝送技術の開発

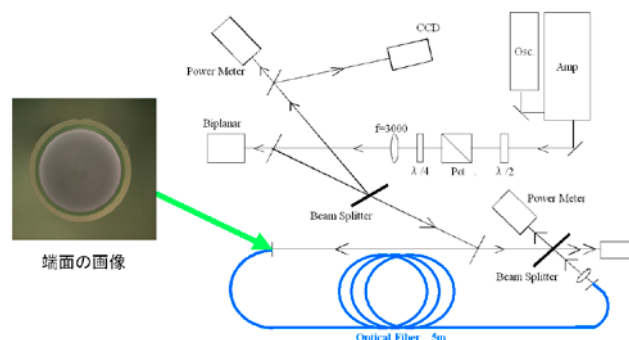
レーザー技術開発室 本越伸二

固体レーザーの1つの利点は、発振波長である近赤外域の光が低損失でファイバ伝送が可能であることが挙げられる。事実、通信、医療など多くの分野で使用され、高出力CW(準CW)光では、kWクラスを伝送しレーザー加工に使用されている。ファイバ伝送により、光学配置の自由度が増し、伝送時の安定性、安全性が向上するため、ミラー伝送からファイバ伝送への置き換えが期待される。一方、パルスレーザーの場合、CW光以上に用途はあるが、様々な課題から十分なエネルギー伝送は達成していない。光ファイバ自身も改善する点はあるが、レーザー総研ではファイバに入射する光を制御することにより、高出力パルスレーザー伝送を可能にするを目指す。

●パルス伝送の課題

ファイバによるパルスエネルギー伝送を制限する要因は大きく2つ存在する。1つはファイバ端面で発生するレーザー損傷。もう1つは、ファイバ内部で発生する損傷と非線形現象である。前者については、ファイバ

端面の加工研磨状態に大きく影響し、入射端面上のエネルギー密度を抑えるためにエンドキャップを設けるなどの工夫がされている。後者は、ファイバの口径と品質・純度による。ファイバコアの口径を大きくすることによりエネルギー密度を下げることはできるが、多モード伝送となり局所的な高強度の存在が伝送エネルギーを制限することになる。本研究では、高エネルギー

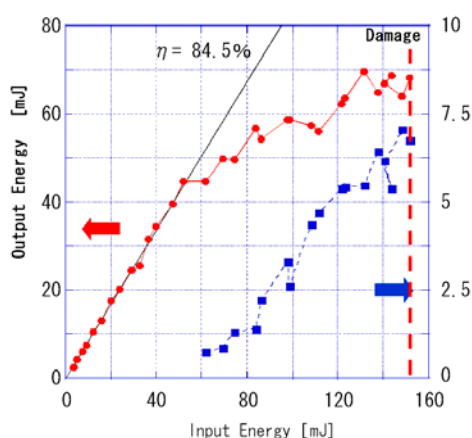


【図1】光ファイバ伝送実験配置図

伝送を目的とし、大口径マルチモードファイバに対する損傷および非線形現象による伝送エネルギーを制限する要因を明らかにするとともに、その改善方法を検討した。

● ファイバ端面の損傷閾値

既設のレーザー損傷閾値評価装置を用いてファイバ端面のレーザー損傷閾値を評価した。図1に示すように、1064nm、10nsの単一モードNd:YAGレーザーパルスを焦点距離3000mmのレンズによりファイバ端面に照射した。ファイバ端面上のビーム像は、照射レーザー光の一部を取り出すことにより、CCDカメラを用いて測定し、ファイバコア径の約80%のサイズに調整した。ファイバへの入射エネルギーとパルス波形と、同時に、ファイ



【図2】光ファイバ入出力特性と誘導ブリリアン散乱光(コア径1000 μ m)

バ内部からの非線形現象による後方散乱(誘導ブリリアン散乱:SBS)光波形を測定した。SBS光のレーザー装置への逆進を抑えるため

に、照射レーザー光は予め円偏光にした。

図2にコア径1000 μ m(長さ5m)の場合の入射エネルギーに対する出射エネルギーとファイバ内部からのSBS光パルスピーク値を示す。入射エネルギー約50mJ以下では、入射エネルギーの増加に伴い出力エネルギーは増加し、伝送効率は84.5%であった。入射エネルギーが50mJを超えるとSBS光が確認され、入射エネルギーの増加に従いSBS光は増加し、伝送エネルギーは減少することが判る。最終的に、約150mJの入射エネルギー時に表面損傷が確認された。入射端面のビームサイズから損傷閾値は約25J/cm²と求められた。通常光学研磨された石英窓の損傷閾値が約75J/cm²であることから、約1/3程度であることが判った。

● 高出力パルスレーザー伝送への課題

ファイバ端面のレーザー損傷閾値が低い原因には、通常の光学素子に比べて研磨状態(表面粗さ)が悪いと考えられる。これは、従来の低出力においては、表面損失を抑えることのみが要求されてきたことに起因している。今後、高出力に用いるためには、加工、研磨、表面処理等を含めて改善が必要である。一方で、更に低いエネルギーにおいてSBSが発生している。これを抑制しなければ、ファイバ端面の損傷耐力が増加しても高出力パルスレーザーの伝送は不可能である。今後、コア材料や構造を検討するとともに、入射レーザー条件等との関係を明らかにし、高出力レーザー伝送を可能にする。

山中千代衛



ひ弱化する人びと

平成の世になっていよいよ日本人のひ弱さが目につくようになってきた。

抗菌グッズに守られ、川や池のまわりに柵があり、好きなものしか食べず残飯の山を作り、道徳教育は避けて通る50年を経た今日、子供達のあらゆる免疫力は落ちる一方である。このような体験を積み重ねても一向に修正が加えられる様子はない。教育の現場では教師を聖職から追い出し、教育とは一人前の成人を育む努力であることを放棄し、生徒と教師は友達関係の有様である。教室の教壇はどこに行ったのだろう。

教育は自分達の文化と世界の情勢を理解し、その中で生きて行く心構えと能力を備えさせるものでなければならない。自らの後継者を育てることではじめて文化は継承されてゆくものだが、守るべきものを見失った教育はきわめて難しい仕事となってしまう。

外国に出ると昔から日本人は若く見られ勝ちであった。少なくとも10歳は低くとられる。これはあながち失点ではなく、むしろ利点の方が多いかもしれない。反省すべきは島国で育った日本人は地球上には多種多様な民族が存在し、考え方、行動様式がそれぞれ異なることに慣れていない。従って国際的に見れば日本人は擦れていないのでムクのままなのだ。これが若く見られる原因の一つである。

しかし明治の人々は若く見えても決してひ弱ではなかった。その中心にあったのはしっかりした心根とよってたつ国の文化が生きていたからである。国際人も結構、コスモポリタンでもいいが、自己のアイデンティティーをしっかり確立していなければ世界では通用しない。それは原点に回帰することである。

戦後育ちは知らないけれど日本は元来いい国なのだ。

【(財)レーザー技術総合研究所 研究所長】

レーザー超音波リモートセンシング装置の 新聞発表とシンポジウム開催

レーザー加工計測研究チーム 島田義則

3年間に亘り開発を行ってきたレーザー超音波リモートセンシング装置のプロトタイプが完成し(レーザークロス第249号)、平成21年1月7日に記者発表、同年1月29日に「リモートセンシング技術によるコンクリート探傷への応用シンポジウム」を行った。新聞記事は翌日から13社の新聞に掲載された。また、シンポジウムでは会場の定員(100名)を上回る115名に参加いただいた。本研究からは5件の発表を行い、活発な議論が交わされた。シンポジウムには鉄道や道路保守に関わる多くの方が参加され、保守技術の高効率化、高速化が急

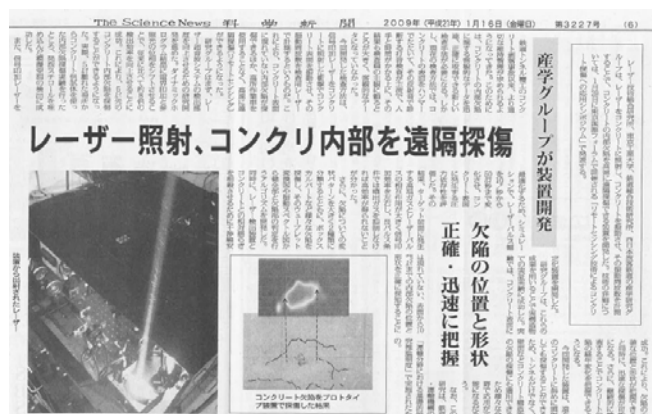
務である。今後はこの要求に応えられるよう実用化に向けて更に努力する所存である。



【写真2】発表を行う筆者



【写真1】シンポジウム会場 定員(100名)を上回る115名が参加



【写真3】平成21年1月16日 科学新聞6面

主な学会報告予定

- 3月17日(火)～19日(木) 電気学会全国大会(北海道大学高等教育機能開発総合センター)
藤田 雅之「積層MEMSのためのパルスレーザー支援デブリフリー低ストレスダイシング技術の開発」
島田 義則「レーザー超音波リモートセンシングを用いたコンクリート内部欠陥探傷実験」
- 3月27日(金)～30日(月) 日本化学会第89春季年会(日本大学理工学部 船橋キャンパス)
ハイク・コスロービアン 「過渡吸収測定によるPYP光サイクル反応の初期過程の研究」
谷口 誠治「C1蛋白質の超高速蛍光ダイナミクス」
- 3月27日(金)～30日(月) 日本物理学会 第64回年次大会(立教大学、立教池袋中学・高校)
古河 裕之「レーザー核融合液体炉壁チャンバー内のアブレーションプラズマの衝突に関する考察」
砂原 淳 「高速点火コounterターゲット内のプレプラズマ生成(監)」
- 3月30日(月)～4月2日(木) 応用物理学会 第56回応用物理学関係連合講演会(筑波大学)
李 大治 「Improvement of Smith-Purcell Free-electron Laser」
染川 智弘「フェムト秒レーザーによる誘電体表面への微細構造の波長依存性」
古瀬 裕章「液体窒素直接冷却Yb:YAGを用いた全反射アクティブミラーレーザー」
本越 伸二「低温条件下における光学材料の損傷閾値(4)」
「大口径マルチモードファイバを用いた高出力パルスレーザー伝送(4)」
砂原 淳 「炭酸ガスレーザー照射によるレーザー生成スズプラズマからの極端紫外光発生の放射流体シミュレーション」