

超短・超高強度レーザーとナノ構造体との相互作用

－ 高品質プロトンビームの生成と各種応用 －

Interaction between ultra-intense lasers and nano-structures

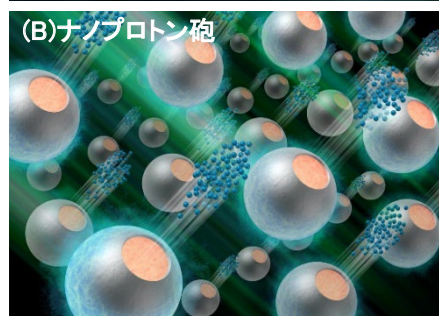
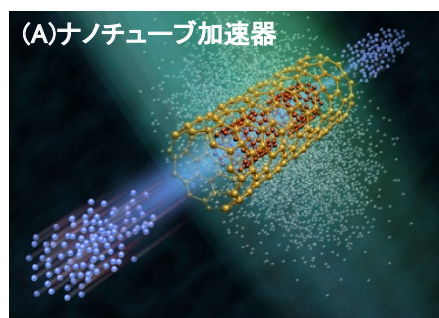
村上匡且 教授

ナノスケール構造の最適化

超高強度のフェムト秒レーザーを物質に照射すると、瞬時に電子の大半が遠方に吹き飛ばされ、残された正電荷の塊がクーロン反発力で四方に飛散するのがクーロン爆発であるが、特殊な幾何学構造をナノスケールの物質に持たせることにより、レーザーとの相互作用の結果として得られる加速されたイオンに「指向性」と「単色性」を持たせることが可能となる。これによって、様々な分野への応用を考えることができる。

図(A)「ナノチューブ加速器」はカーボンナノチューブをベースとしており、チューブ内に水素化合物を充填したものである。長さ50ミクロン、直径15ミクロンという微細構造に対する3次元シミュレーションによると、数MeVクラスのエネルギーを持った準単色のプロトンビームが得られることがわかっている。

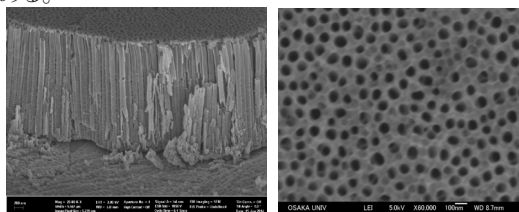
一方、図(B)「ナノプロトン砲」は、中空のナノスケール球殻の一部に射出口を持たせたナノ構造体であり、この構造を使うことにより、内部に充填された水素化合物のプロトン成分が指向性を持ってビーム状に加速されることがわかっている。加速されるプロトンを全体的にビームとして得るためには、(A)の場合はナノチューブ軸の方向を、(B)の場合はナノ球の射出口の方向を、統一配向させて製作する必要がある。したがって今後、こうしたナノ構造体の現実的応用を図る場合は、高精度のナノファブリケーション技術の発展・向上が欠かせない。



応用1

プロトンビームを使った微細加工 や描画技術の産業応用

上記のような機構で得られるプロトンビームは出力は低いが指向性・単色性の高いビームパフォーマンスが期待されることから、微細加工やプロトンビーム描画、さらにはプローブとしての応用を考えることができる。ビームの発生・制御に対する技術開発は今後の課題である。下図に示したのは、ナノチューブ加速器の基礎実験に用いた結晶化二酸化チタンを使った中空チューブの集合体ターゲットである。内径100nm、外径150nm、軸方向長さ2ミクロンである。それらのチューブが載っている基盤も同材質であるが、近未来的には、材質やナノチューブパラメータなどを振ってプロトンビーム生成に対する最適化を進める必要がある。



応用2

中性子捕捉癌治療など医療応用 のための中性子源として

数十フェムト秒のパルス幅を持つ高強度レーザーを100ナノメートル程度の中空殻構造を持つプラスチック(炭素+水素)に照射すると、吸収されたレーザーエネルギーから最終的なプロトンへのエネルギー変換効率は30%にもおよび、且つ、準単色のエネルギースペクトルを持つことがわかっている(下左図)。こうして得られるMeVのエネルギーを持ったプロトンをリチウムやベリリウムに照射すると減速材も少なくコンパクトな中性子源の開発を視野に入れることができる。最新のナノテクを導入することでさらなる高効率化を図ることができる。

