

# カーボンナノチューブをポリイミドに均一に分散 光デバイスに有望な非線形光学材料

カーボンナノチューブをポリイミド中にナノメートルレベルの均質さで分散する技術を開発し、透明性・耐熱性・堅牢性・加工性に優れた新しい非線形光学材料をつくることに成功した。この材料を用いて試作したファイバーレーザーは、時間幅 165 フェムト秒という非常に短いパルス光を発生させることができた。また、高度な微細加工技術により、この材料をコア部とする光導波路の試作にも成功し、非線形光学デバイスとして機能することを実証した。

We developed a new method for dispersing carbon nanotubes in polyimide with nano-meter-scale uniformity. This material is a new promising nonlinear optical material with transparency, thermal durability, robustness and processibility. A fiber laser using this material generated a very short light pulse with 165 femto second width. With a fine microfabrication technology, a waveguide device was fabricated using this material.

## カーボンナノチューブ非線形光学材料の利点と問題点

2001年に、カーボンナノチューブが可飽和吸収効果という非線形光学効果を光通信波長帯で示すことが、産総研などで見出された。その後、この効果を利用した薄膜デバイスが、超短パルスを発振するレーザーに有望であることが明らかにされた。さらに、この効果は光スイッチをはじめとした光通信デバイスへの応用が期待されている。

これらの光デバイスで、すぐれた性能・再現性・耐久性・量産性を実現するには、高品質の材料で高度なデバイス構造を構築することが求められる。ところが、通常のナノチューブ素材は凝集性の強い粉末であるため光学的品

質がきわめて悪く、また任意の形に加工することができず、光デバイス開発の大きな障害になっていた。

## ナノチューブ分散ポリイミド材料の開発

この障害に対する有力な解決策は、ナノチューブを透明なポリマー中にナノメートルレベルの均質さで分散させナノコンジット材料の開発である。このような材料は、光学的均質性と透明性を備えており、いろいろな形に加工できる(図1)。ポリマー材料にはさまざまな種類があるが、光デバイスへの応用では、透明性・耐熱性・堅牢性・加工性などの条件を同時に満たすことが要求される。ポリイミドはこれらをクリアする非常に有望な材料であり、われわれはナノチューブとポリイミド

神原 陽一 さかきばら よういち  
yo-sakakibara@aist.go.jp  
光技術研究部門  
ハイブリッドフォトンクスグループ  
主任研究員  
(つくばセンター)

2001年にカーボンナノチューブが可飽和吸収効果を示すことを見出して以来、この効果を利用した本格的なデバイス構築できる材料を求めて、ナノチューブをポリマーに均質に分散する技術の開発を進めてきた。幸いすぐれた材料を得ることができたので、現在はその材料を用いた新しい非線形光デバイスの開発に取り組んでいる。産総研内部のいろいろな部署に所属する研究者との共同研究を中心に、横断的な研究展開を進めている。今後は外部研究機関との共同研究も本格化する予定である。

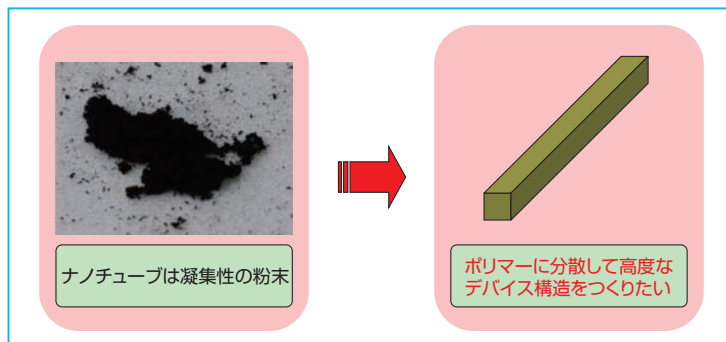


図1 カーボンナノチューブ分散ポリマー材料の必要性

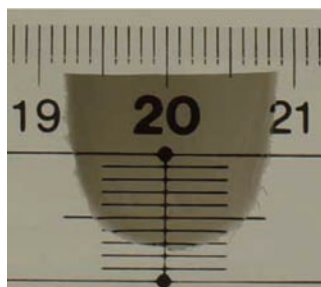


図2 定規の上に置いた透明なナノチューブ分散ポリイミドフィルム

によるナノコンポジット材料の開発に取り組んだ。

しかし、一般に良質のナノコンポジット材料を製造することは容易ではない。分散素材がナノメートルサイズになると表面積が急激に増大するため、媒質との間の界面エネルギーが大きくなり、分散素材どうしが凝集して媒質から遊離してしまうことが多いためである。われわれは、超音波を用いてナノチューブを有機溶媒中にナノメートルレベルのサイズで分散する技術を開発し、さらにブロック共重合ポリイミドという特殊なポリイミドがナノチューブとよく混合することを見出した。この混合体から溶媒を蒸発させて光学的な均質性に優れた良質で透明なナノコンポジット材料を得ることができた(図2)。

### 非線形光学デバイスへの応用

こうして、すぐれた材料が得られたので、非線形光学デバイスへの応用を試みた。

この材料で形成したフィルムデバイスを用いて、エルビウムイオン添加ファイバーレーザーでパルス幅165フェムト秒(フェムトは千兆分の一)という非常に短いパルス光を発生させることができた。これは、このタイプのレーザーで達成可能な限界に近い長さである。デバイスの光学的品質が高く光の散乱による損失が少ないことが、

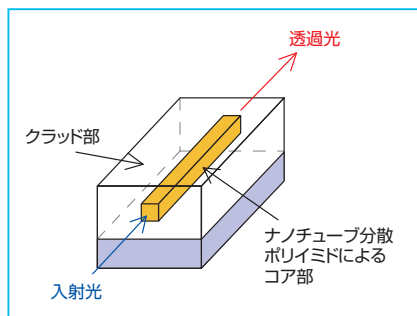


図3 光導波路構造の概念図

このような非常に短いパルス光を発生できた理由のひとつと考えられる。また、このタイプのレーザーでは、吸収された光のエネルギーが熱エネルギーに転換するためにデバイスの温度上昇が避けられないが、ポリイミドという耐熱性樹脂を用いているので、安定した動作を継続することができた。さらにこの材料を用いたデバイスは、再現性と量産性にもすぐれているので、実用的に非常に有望である。

また、この材料を用いて、ナノチューブをコア部に含有する光導波路の試作にはじめて成功した。光導波路とは、図3に示すようにコア部と呼ばれる屈折率の高い細長い領域を、クラッド部

と呼ばれる屈折率の低い領域で覆うことにより、コア部に光を閉じ込めて長い距離を伝播させるデバイスである。閉じ込めによって光強度を高くすることができるので、高い光強度が要求される非線形光学デバイスに適している。今回開発に成功した材料は、高度な微細加工技術を適用できるので、実際に図4に示すような光導波路構造を試作することができた。非線形光学デバイスとして機能することも確認しており、この材料が非線形光導波路デバイス用の材料としても有望なことが実証できた。

### 今後の展望

今回開発した材料は、フィルムや導波路にとどまらず、半導体光デバイスとのハイブリッド化など、多様な展開が期待できる。また、非線形光学材料以外にも、ナノチューブの分散濃度を高くすれば帯電防止材料としての応用が期待できるので、とくにポリイミドの耐熱性と機械的強靭性を生かした用途の探索を進めていきたい。

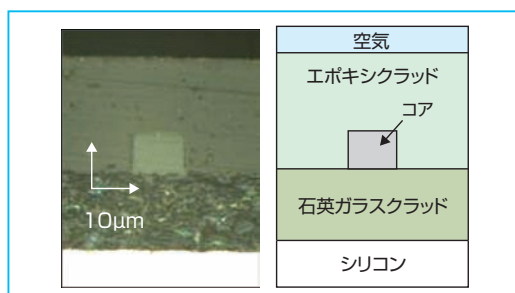


図4 試作した光導波路構造の断面

#### 関連情報：

- 共同研究者 片浦弘道 (ナノテクノロジー研究部門)、徳本圓 (ナノテクノロジー研究部門)、板谷太郎 (計測フロンティア研究部門)、金高健二、並木周、松崎瞬 (東京理科大学連携大学院)、石田興太郎 (東京理科大)、糸賀恵美子、板谷博 (ピーアイ技術研究所)、ウィンモーター (ピーアイ技術研究所)
- 産総研プレス発表：2006年2月14日「カーボンナノチューブをポリイミド樹脂中に均一に分散させることに成功-透明性・耐久性にすぐれた非線形光学デバイスに大きく前進」
- Y. Sakakibara, K. Kintaka, T. Itatani, S. Matsuzaki, T. R. Schibli, K. Minoshima, S. Namiki, E. Itoga, M. Tokumoto, K. Ishida and H. Kataura, Proceedings of Optical Fiber Communication Conference 2006 OThQ1.