

【特集】

光ファイバーセンサーの現状と展望

特集のポイント：特集企画にあたって／東京大学 山下 真司

安全・安心な社会を支える光ファイバー神経網技術／東京大学 保立 和夫 ほか

光ファイバセンサー利用次世代航空機構造ヘルスマニタリング技術／東京大学 武田 展雄

光ファイバーひずみセンサーによるひび割れ検知技術の開発／鹿島建設 今井 道男

長距離光ファイバーの高精度反射測定技術／NTTアクセスサービスシステム研究所 伊藤 文彦 ほか

石油・天然ガス探査における光センサー技術の現状と動向／シュルンベルジェ 山手 勉

光ファイバー電流センサーの開発ならびに応用／東京電力 黒澤 潔

光ファイバー型睡眠時無呼吸センサーの研究開発／東京工科大学 三田地 成幸

光ファイバージャイロによる極限回転計測／日本航空電子工業 大野 有孝

モード同期ファイバーレーザーの光コムを用いた精密長さ測定／

産業技術総合研究所 美濃島 薫

9

September
2009 Vol.31 No.9

【連載】

第9・光の鉛筆／ニコン 鶴田 匡夫

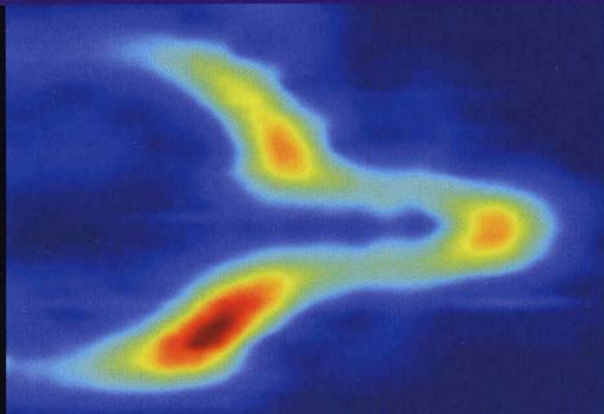
波動光学の風景／東芝 本宮 佳典

入試問題に学ぶ光のあれこれ／産業技術総合研究所 柴田 宣

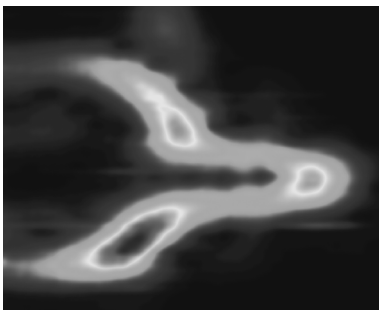
コンピュータイメージフロンティア／Dr. SPIDER

ホビーハウス／鏡 惟史

私のなかの松下幸之助／神尾 健三



特集 □ 光ファイバーセンサーの現状と展望



表紙写真説明

長尺FBG (ファイバー・ブラッグ・グレーティング) の内部の歪分布を光波コヒーレンス関数の合成法により測定するシステムも提案し, FBGの一部を熱した際のブラッグ波長分布測定を行った。写真は, その際の画像である。この長尺FBGセンサーを多重化する技術も, 現在研究が進められている。(東京大学/保立 和夫, 何 祖源: 詳細は1001ページ)

特集企画にあたって	994
東京大学 山下 真司	
安全・安心な社会を支える光ファイバー神経網技術	996
東京大学 保立 和夫, 何 祖源	
光ファイバセンサー利用次世代航空機 構造ヘルスマonitoring技術	1004
東京大学 武田 展雄	
光ファイバーひずみセンサーによる ひび割れ検知技術の開発	1009
鹿島建設 今井 道男	
長距離光ファイバーの高精度反射測定技術	1014
NTTアクセスサービスシステム研究所 伊藤 文彦, 樊 昕昱, 古敷谷 優介	
石油・天然ガス探査における光センサー技術の現状と動向	1019
シュルンベルジェ 山手 勉	
光ファイバー電流センサーの開発ならびに応用	1024
東京電力 黒澤 潔	
光ファイバー型睡眠時無呼吸センサーの研究開発	1029
東京工科大学 三田地 成幸	
光ファイバージャイロによる極限回転計測	1037
日本航空電子工業 大野 有孝	
モード同期ファイバーレーザーの 光コムを用いた精密長さ測定	1041
産業技術総合研究所 美濃島 薫	

れんさい

第9・光の鉛筆 [14] Zernike の収差直交展開4 収差測定と鮮鋭度照度比の計算 ニコン 鶴田 匡夫	1048
波動光学の風景 第50回 52. ミュラー行列 東芝 本宮 佳典	1055
入試問題に学ぶ光のあれこれ 第6回 光ファイバーの情報伝送特性 産業技術総合研究所 柴田 宣	1060
コンピュータイメージフロンティア VFX 映画時評 Dr. SPIDER	1079

私の発言

「光学はラフにやるのは簡単だけれども、きちんと突き詰めてやろうとすると非常に難しい」

キャノン 鈴木 章義 …………… 988

一枚の写真

二層カーボンナノチューブを使った原子サイズの PN 接合創製に成功 — ナノ LED 実現への期待 —

青山学院大学 春山 純志 …………… 967

O plus E News

981

- URCF, 7.22 皆既日食 4K 全天ライブ映像の伝送実験に世界で初めて成功
- 富士フィルムが世界初, 立体デジタルカメラを販売開始—撮ってすぐ背面モニターで裸眼立体観賞
- 産総研, イッテルビウム光格子時計の開発に世界で初めて成功—137 億年動かして誤差 1 秒以下の時計が実現可能に
- 特別展「小穴純とレンズの世界」を開催中～東大駒場博物館で 9 月 23 日まで

- 石川光学, 実物と合成させた立体映像が楽しめる, 新原理の裸眼立体システムを販売開始
- アバゴ, 携帯機器向け光学式ポイントニングデバイス技術をメディア公開
- 日本 NI, 計測設計システム開発ソフトウェア「NI LabVIEW」の最新版を販売開始
- 第 3 回ものづくり日本大賞が発表—光学・画像分野からは 11 件選ばれる
- 日本レーザー, オクラロ傘下入り

- したスペクトラ・フィジックス製品の取り扱いを開始
- エドモンド, VPH グレーティングの販売を開始
- エドモンド, 赤外用非球面レンズの販売を開始
- ティー・イー・エム, 3 次元 CAD 設計ソフトウェア「SolidWorks」の認定販売店に
- 最近の異動・移転
- 訃報:「オリンパスペン」の設計者 米谷美久氏
- 「光学」 予定目次

掲示板

979

- 応用光学懇談会 第 139 回講演会「ベクトルビームとその応用」
- 第 33 回 (平成 21 年度) 東京電機大学 ME 講座「先端技術がひらく

- 医療と福祉の未来」
- 照明学会 光関連材料・デバイス研究専門部会 公開研究会「照明用 LED を支えるキーテクノロジー

- ～放熱, 蛍光体, 駆動技術の最新動向～」
- 光協会 平成 21 年度 (第 20 回) レーザ機器取扱技術者試験

コラム

Event Calendar	969
ホビーハウス 「三角柱が回転するディスプレイ」	1074
非凡なる凡人 私のなかの松下幸之助 「20 世紀最後の大型家電商品」	1086

New Products	1090
オフサイド 「研究業績」	1092
次号予告	1094

広告索引 (資料請求番号)

ア行

アドコム・メディア(株) ……358-998 (表 3)
(株)インデコ ……358-033
(株)インフラレッド ……358-024
エドモンド・オブティクス・ジャパン(株) 358-997 (表 3 対向)
(株)エフ・アイ・ティー ……358-027
(株)エムスクエア ……358-028
オーシャン フォトニクス(株) ……358-010
オーテックス(株) ……358-999 (表 4)
(株)オハラ ……358-034
(株)オプトサイエンス ……358-020, 358-021

カ行

カンタムエレクトロニクス(株) ……358-026
(株)金門光波 ……358-019
コーンズドッドウェル(株) ……358-030
コヒレント・ジャパン(株) ……358-002, 358-003

サ行

サンインスツルメント(株) ……358-015
(株)システムズエンジニアリング ……358-014
セキテクノトロン(株) ……358-017
ソーラボジャパン(株) ……358-009

タ行

タレスレーザー(株) ……358-031
(株)ティー・イー・エム ……358-008
トライオブティクス・ジャパン(株) ……358-029

ナ行

(株)ナノテックス ……358-035
(株)日本レーザー ……358-013

ハ行

伯東(株) ……358-032
ピーアイ・ジャパン(株) ……358-007
フルウチ化学(株) ……358-023

マ行

(株)マテリアルテクノロジー ……358-011, 358-012
三鷹光器(株) ……358-025
メレスグリオ(株) ……358-016, 358-018

ラ行

(株)リーディンテックス ……358-022

編集 編集同人会

編集アドバイス 編集顧問会, 編集参与会

編集長 油井識親

編集担当 福谷育史, 坪井孝之, 田邊智恵子

広告担当 油井識親, 真塩葉一, 金田誠一, 濱口孝彰,
芦田孝志

URL <http://www.opluse.com/>

発行・広告 アドコム・メディア(株)

〒 169-0073 東京都新宿区百人町 2-21-27

☎03-3367-0571 FAX 03-3368-1519

E-mail 編集部 edit@adcom-media.co.jp

管理部 oesales@adcom-media.co.jp

広告 sales@adcom-media.co.jp

URL <http://www.adcom-media.co.jp/>

・本誌に掲載する著作物の複製権・翻訳権・上映権・譲渡権・公衆送信権(送信可能化権を含む)はアドコム・メディア(株)が保有します。
・ **JICLS** <㈱日本著作出版権管理システム委託出版物>本誌の無断複写は著作権法上での例外を除き禁じられています。複写される場合は、そのつど事前に、㈱日本著作出版権管理システム(電話 03-3817-5670, FAX 03-3815-8199)の許諾を得てください。

一枚の写真

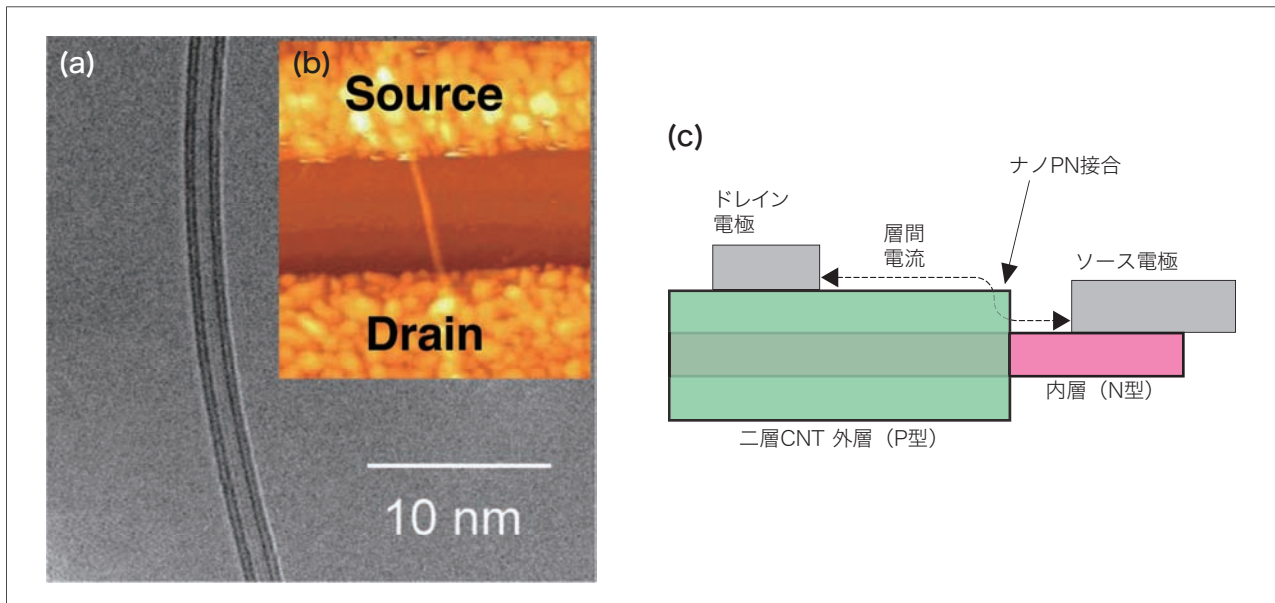


図 1 (a) 二層カーボンナノチューブ (CNT) の高分解能透過型電子顕微鏡像 [提供：名古屋大学 篠原久典研究室 菅井准教授(現 東邦大学)], (b) その電極間の原子力顕微鏡像, (c) (a) を電流チャネルとした電界効果トランジスタ断面模式図

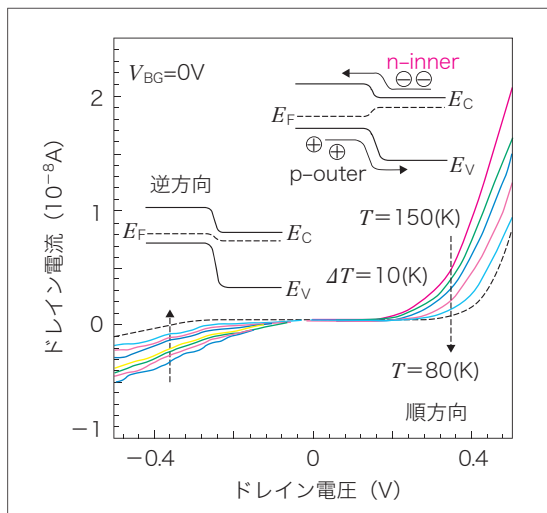


図 2 図 1(c) のドレイン電流・電圧特性の温度依存性(バックゲート電圧 = 0V)

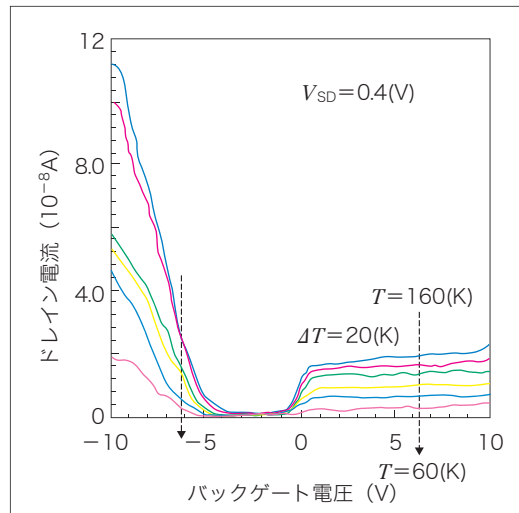


図 3 図 2 のドレイン電流のバックゲート電圧依存性(ドレイン電圧 = 0.4V)

二層カーボンナノチューブを使った原子サイズの PN 接合創製に成功 — ナノ LED 実現への期待 —

カーボンナノチューブ (CNT) は、炭素原子の六員環が自然形成する直径わずか約 1nm (1m の 10 億分の 1) のストローである。1991 年に NEC の飯島澄男博士により発見されて以来、その特異な構造、電子状態、量子物性現象、および素子応用は注目を浴び続け、近年はノーベル賞の有力候補にも毎年挙がっている。応用の一環として、一次元空間での長寿命エキシトン (電子・正孔対) を利用した発光素子なども期待を集めている。

さて、CNT には多様な構造が存在する。一層からなる「単層 CNT」、複数の層が同心軸状に集まって形成する「多層 CNT」はその主要構造であるが、一方で新世代 CNT と呼ばれるものに、単層 CNT の内部空間に炭素原子のサッカーボール (フラーレン) を内包した「カーボンナノピーポッド」、二層のみからなる「二層 CNT」がある。今回われわれは、この二層 CNT をチャンネルとした電界効果トランジスタを作成し、二層の接合部に原子サイズの PN 接合を創製することに初めて成功した。

「二層 CNT」とは、その名の通り 2 つの層のみから構成された CNT である [図 1(a)]。上記したように、CNT は炭素の六員環がつながって自然形成されるが、この六員環の並び方によって、金属的伝導、半導体的伝導の両方を示す。したがって二層 CNT は、金属層/半導体層から形成されれば接合部はナノショットキー接合に、PN 半導体層から形成されればナノ PN 接合になる可能性を持つ。しかし、内層は外層に囲まれているため、内外層間の接合を作ることは従来困難とされていた。

そこでわれわれのグループでは、電子顕微鏡写真撮像時に電子線を CNT に長時間照射すると CNT が簡単に破壊され観察が難しいという欠点に着目し、逆にこれを活用した。つまり外層 CNT の一端のみに電子線を長時間照射することで外層を部分的に破壊し内層を露出させ、図 1(c) に示すように二層 CNT の一端は内層に、他端は外層に電界効果トランジスタ (FET) 電極を形成することに成功した。これにより電流経路は必ず内外層の接続部を介したものになり、その電気特性を観察することが可能になった。

図 2 に、作成した FET のソース・ドレイン電極間の電流・電圧特性の温度 (T) 依存性を示す。非対称性の強い整流特性が出現していることがわかるが、温度依存性も大きいことからこの特性がショットキー接合特性ではなく、PN 接合特性であると解釈できる (ショットキー接合の逆方向電流領域では、トンネル電流が支配的で温度依存性を持たない)。この結果は理論曲線とも一致し、内外層が PN 半導体的伝導を持っており、それらの接合部が PN 接合になっていることを示唆する。さらにこの二層 CNT の PL 発光特性において内外両層からのバンド間発光が確認できており、これも両層が半導体的伝導を持つことを裏付ける。

図 3 は FET のバックゲート電圧 (基板裏から印加したゲート電圧: V_{BG}) に対するドレイン電流の依存性であるが、ここでも強い非対称性が存在する。一般に MOSFET において、正負のゲート電圧印加はゲート絶縁膜を挟んだ静電効果により N 型半導体では電子を、P 型では正孔を電流チャンネルに誘起する。一方、CNT-FET では 1 つの CNT チャンネルで正負のゲート電圧印加に対して共にドレイン電流が増加する特殊な特性が出現する (両極性)。しかしその場合、図 3 のような強い非対称性が現れることはなく、この結果はむしろ正負の V_{BG} が二層 CNT の異なる層を MOSFET のように変調していると解釈できる。正 V_{BG} 領域でドレイン電流がすぐに飽和することは、基板と直接接触している部分が少なく V_{BG} が効きにくい内層が N 型であり、またその電子電流容量が小さい可能性を示唆する。二層 CNT 生成時に、われわれは大気中約 500°C で試料を熱処理しており、このプロセスは CNT を P 型にすることが知られているため、外層は P 型になっている。一方で内層は外層により隔離されているため、熱処理を経ても N 型のままである。これは上記特性ともよく一致し、結局内外層間の PN 接合の存在が結論できる。

さて、この PN 接合は、もちろん炭素原子レベルのナノ領域で発生しているのだから、PN 接合 LED などの発光素子の観点からは 1 つの二層 CNT が低いしきい値で強い発光を起こすことは十分に予想でき、しかもエネルギーバンド幅は CNT の直径で制御可能であるため、発光波長も可変である。さらに図 3 で示したように、 V_{BG} により発光の ON/OFF も制御できる。ナノサイズなので、これを高密度で敷き詰めれば低消費電力・強い発光力・長寿命を持つ波長可変 LED 創製が将来期待できるだけでなく、LSI に組み込むことでゲート電圧で制御可能な Opt Electronics 素子の実現も可能であろう。今後の発光特性の観察の進展に期待したい。

なお、本研究は科学技術振興機構 福山秀敏 東大名誉教授総活 CREST の支援の下で、名古屋大学 篠原久典研究室との共同研究として行われた。

参考文献

- 1) T. Shimizu, J. Haruyama, K. Nozawa, T. Sugai, and H. Shinohara: Appl. Phys. Lett., **94** (2009), 143104
- 2) 春山研究室 HP (<http://www.ee.aoyama.ac.jp/Labs/j-haru-www/>)。ナノチューブ超伝導などに関する記事や関連写真がご覧になれます。