



東京工業大学
量子ナノエレクトロニクス研究センター 教授

あら い しげ ひさ
荒井 滋久 先生

今回のSamco-Interviewは、東京工業大学を訪ね、量子ナノエレクトロニクス研究センター 教授の荒井滋久先生にシリコンフォトニクスのご研究についてお話を伺いました。

現在に至るご研究について お聞かせください。

LSIの高速化・高集積化はムーアの法則に従い、素子の微細化・低電圧化によって達成されてきました。しかし、将来的にはさらなる微細化にともない素子間の配線におけるRC遅延や発熱、高抵抗化といった問題が懸念されており、これらがLSI全体の性能を律速してしまう要因になると考えられています。その解決策の一つとして近年有望視されているのが電気配線の光配線への代替です。現在、この『次世代集積回路のための光配線用極低電力光デバイス』を中心に研究を行っています。

現在に至る研究の経緯としては、まず、学部の卒論で広帯域光ファイバ通信用レーザの研究を始め、現在実用化されている長波長レーザの初期の研究を行いました。1982年の博士課程を終了する頃には最低損失波長帯1.55 μ mで動作する単一モードのDBR (Distributed Bragg Reflector=分布ブラッグ反射型)レーザができましたが、10年も経たないうちにそれは実用化されました。長波長レーザの研究を続けるうち、システムを実用化する光源の研究は大学の一研究室ではとても対抗できないという考えに至り、逆に低電流で動作する省電力の光源に注目し、1990年代に1.55 μ m波長レーザの低電流・高効率動作化の研究に入りました。電子線ビーム露光法と低損傷ドライエッチング、有機金属成長法に

プロフィール

- 1977年 東京工業大学 工学部電子工学科 卒業
- 1982年 東京工業大学 大学院理工学研究科 博士課程 修了
- 1982年 東京工業大学 工学部 助手
- 1983年 AT&T Bell Laboratories Post-Doctoral Researcher
- 1984年 東京工業大学 工学部 講師
- 1987年 東京工業大学 工学部 助教授
- 1994年 東京工業大学 量子効果エレクトロニクス研究センター 教授
- 2004年 東京工業大学 量子ナノエレクトロニクス研究センター 教授

よる埋め込み成長を用いた量子細線構造レーザの室温連続動作を確認し、この低損傷加工技術を用いてしきい値電流0.7mAの1.55 μ m波長DFB (Distributed Feedback = 分布帰還型)レーザを実現しました。

低電力化の研究の方向は、1990年代の終わりに出された米国スタンフォード大学のデビッド ミラー教授の論文で明確になりました。Si (シリコン)の集積回路が将来には高速化の進展で小さくなり、配線を通る電気信号のパワーが高すぎて熱に変わり、効率が非常に悪くなる。その際に抵抗を感じない光が使えるのではないかとというものです。先ほどのDFBレーザは出力1mW程度の低光出力動作には適していますが、将来の集積回路の配線を光配線に置き換えるにはもう1桁以上低い極低消費電力動作が必要と考え、さらに極低電流動作が可能な半導体レーザの研究に取りかかりました。そこで、活性層を含む半導体層を150-200nm程度に薄層化し、上下を半導体に比べて屈折率差が10倍程度大きなBCB (ベンゾシクロブテン)膜やSiO₂ (酸化シリコン)膜で挟むことにより、光モードの電力が半導体中に従来の二重ヘテロ構造の約3倍強く閉じ込められる半導体薄膜レーザ (Membrane Semiconductor Laser)を考案し、その実現と低電流・高速直接変調動作を目標とした研究に着手しました。

2001年には光励起によって極低しきい値で動作する半導体薄膜構造DFBレーザの室温

連続動作に成功しました。2007年にはBCBの屈折率の温度係数が負値であることを利用し、半導体のそれと相殺することにより発振波長の温度変化係数の小さなDFBレーザを実現しました。その後、将来の集積回路の光配線に適用するためこの半導体薄膜レーザを電流注入で動作する研究に注力し、2009年に室温パルス発振、2013年に室温連続動作を達成しました。現在、DFB構造化による極低電流動作を目指しています。

2006年より着任した西山伸彦准教授と共同で研究室運営を行っており、将来の集積回路の光配線を中心にシリコンフォトニクス全般に関わる研究を行っています。

今後のご研究の展望について お聞かせください。

我々が考えた半導体薄膜構造レーザは、従来のレーザに比べ厚さが10分の1以下と非常に薄く、しかも上下を絶縁体で挟むことで光モードの電力が3倍くらい強く光増幅を行う活性層に閉じ込められるものです。薄膜半導体の上下が絶縁体で挟まれる構造のために、半導体の横方向からしか電流を入れられない特殊な構造のレーザですが、理論的にデザインすると従来のレーザに比べ二桁くらい動作電流が下がります。この研究は1999年にスタートし、2000年を過ぎてから光励起でキャリアを作ると予想通りの低しきい値で必ず発振するようになりました。電流を流して発光するまでには、それからさらに5~6年かかりました。作ればほぼレーザ発振するようになったというのは、つい最近です。しかし、NTT研究所が以前から研究していたフォトニック結晶レーザで2010年に室温で非常に低い電流で動作させ、さらに昨年にはもう一桁下がり、10 μ Aを切る低電流で動作させました。従来の通信用レーザの1000分の1くらいの極低電流動作は、残念ながらNTT研究所に先を越されてしまいました。しかし、我々が進めてきた半導体薄膜構造レーザの潜在能力の高さが世界的に認識されたということでもあります。今後は、将来の集積回路上に載せることのできる高速動作光源としてのレーザおよび高速・低電力動作可能な光検出器を集積したオンチップトランシーバーの研究を進めていきたいと考えています。

量子ナノエレクトロニクス研究センター についてご紹介ください。

私の指導教授であった末松安晴元学長や高橋清名誉教授らの長い業績をベースに『量子ナノエレクトロニクス研究センター』の前身である『量子効果エレクトロニクス研究センター』が文部科学省の管轄で1994年度から10年間時限で設立されました。通常、文部科学省は時限後の継続を認めませんが、独立行政法人化の切り替え時期と重なり、大学で新しいセンターとして認められました。

大学の組織として『量子効果エレクトロニクス』から『量子ナノエレクトロニクス』へ名前を少し変え、ナノ構造をベースにした新しいデバイスやシステムにつながる研究を行うセンターとして2004年度に設立され、『量子ナノ機能材料・デバイス研究部門』、私の所属する『超ヘテロ構造材料・デバイス研究部門』、『量子ナノプロセス研究部門』の3部門で構成されています。

1986年に建設された超高速エレクトロニクス研究棟および量子ナノエレクトロニクス研究センターと学内共同利用スペースとして建設された大岡山南9号館に半導体結晶成長装置、電子ビーム露光装置、各種の作製プロセス装置とSEMを始めとする評価装置が設備されており、学内教員の研究室の共同利用だけではなく、文部科学省ナノテクノロジープラットフォーム事業の支援拠点として他大学や産業界に対し、開拓した極微構造形成技術をもとにした技術代行も行っています。

日頃のご研究において心がけておられることはどのようなことでしょうか？

私は学生時代に指導教授から第一著者として論文を書かせて頂き、国際学会で随分発表させて頂いたので、今の学生にもそのような経験をしてほしいと考えています。論文には、基本的に世界初もしくは世界一のいずれかが求められ、これを常に念頭に置くようにと指導しています。あるグループはこういう研究をしているので我々もまねていい結果が出ました、では始めから書く気があるとはいえません。結果は悪くても、独自に考案・提案した独創的アイデアに根ざすものであることが最も重要であると考えています。

座右の銘をお教えてください。

結婚式やお祝い、留学生の帰国時などで色紙に書いてほしいと頼まれたら、随分昔から四文字の『温故知新』を書いています。本来の論語の『温故而知新』（故きを温ねて新しきを知れば、以って師と為るべし）というリーダーとなるた

めの教訓というべき重い意味ではなく、そこから派生した現代的な意味での『温故知新』。研究を始める上では何が既知（古いこと）なのかを知らなければ、新しいことは始められませんので。

サムコ装置のご感想をお聞かせください。

2000年にRIE（リアクティブイオンエッチング）装置『RIE-10NR』を購入しました。当時、低しきい値の半導体レーザを作る上で単一波長で動作する回折格子を切らなければなりませんでした。我々は、活性層を幅20nm以下の量子細線にすることで量子効果によりキャリア注入時にある特定の波長でゲインが高くなれば低しきい値化に有利と考え、量子細線構造を作ろうとしました。当初は電子ビーム露光装置でのパターニング後に酸を使ったウエットケミカルエッチングをしていたのですが、どうしても半導体の結晶面が出て垂直性に優れた構造が作れませんでした。そこで、きれいな垂直面を出せるドライエッチング装置を探し、いくつか装置メーカーを当たってこのRIE装置を購入しました。当時、ICPエッチング装置も開発されたところでICPが使えればベターでしたが、高価で手が出せず、RIEを1台体験導入しました。これを使ったところ非常に使い勝手がよく、再現性に優れ、しかもよいデータが一回で取れるようになりました。この装置があったお蔭でトップデータの論文を学生がいくつか書いています。量子細線もそうですが、この装置を使って随分と新しい研究ができました。しかし装置の操作が簡単ですから、世界中で大学だけではなく企業にも結構まねされました。

最後にサムコに対して一言お願いします。

学生時代の1980年に末松先生の大きな予算で大口径のプラズマCVD装置とエッチング装置を購入しました。その装置ですが、数ヵ月格闘したにも拘わらず、結局膜厚分布の再現性が得られなかったことが、忘れ難い思い出となっています。しかし、その20年後に購入したRIE装置は素晴らしい装置で非常に助かっています。私の研究室では、現在サムコさんの装置ではRIEが3台とICPが1台が並んでいます。頼れる装置機器メーカーとして期待しておりますので、今後も信頼性の高い装置とメンテナンスを含む充実したサービスの提案を続けて頂きたいと存じます。

お忙しいところ貴重なお時間を頂き、誠にありがとうございました。