

ナノが拓く産業フロンティア 日経先端技術

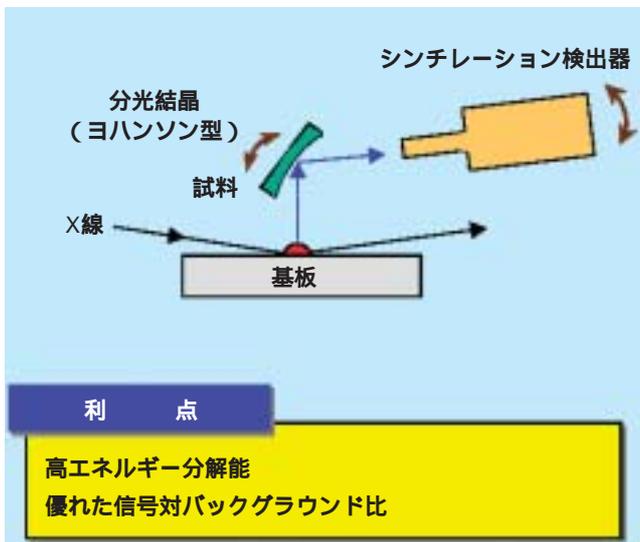


図1 物質・材料研究機構が採用した全反射蛍光X線分析法

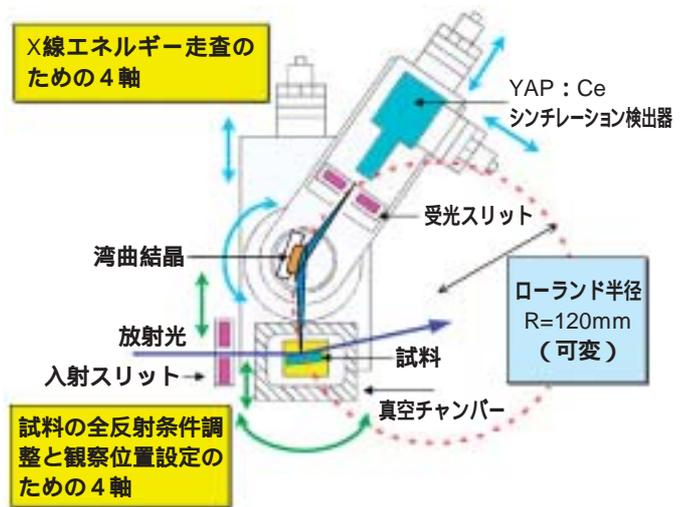


図2 研究グループが開発した小型の結晶分光器

Newsフラッシュ

物質・材料研究機構の桜井G 高輝度放射光で超微量金属を検出 ニッケルで「フェムトの壁」破る ナノテクノロジーに多彩な応用

物質・材料研究機構の高輝度光解析グループ（材料研究所）の桜井健次ディレクターらは、播磨科学公園都市の大型放射光施設、SPring-8の高輝度放射光（X線）を使って、1f（f=フェムト=1000兆分の1）g（グラム）を下回る超微量の金属を検出することに成功した。同グループの持つ測定記録をほぼ1ケタ更新し、「フェムトの壁」を世界で初めて破った。ナノテクノロジーやライフサイエンスなど、超微量物質を対象とする新たな研究領域へ多彩な応用をもたらす成果

といえる。

桜井ディレクターらの研究は微小な液滴に含まれる超微量の金属を、最新の測定技術で計測し、検出限界を限界まで高めようとする試み。今回、研究グループはニッケルを混入した0.1 μ lの液滴をシリコン基板に滴下・乾燥させ、X線で0.31fgという超微量のニッケルを検出することに成功した。これは濃度換算で3ppt（pptは1兆分の1）に相当する。従来のニッケルの測定限界は1.9fgだった。研究成果は米化学会のAnalytical Chemistry誌（9月1日号）に掲載された。

研究グループの実験手法は日本発の高感度な超微量分析法として知られる全反射蛍光X線分析法（図1）。これは金属などの試料を置いた基板に対し、X線を平行に近い浅い角度で入射し、反射X線（蛍光X線=X線が当たった原子が放出する二次X線）を使って分析する手法。X線は物質への侵入・透過能力が高いが、

こうすれば、基板への侵入がほとんどなくなり、基板からの散乱X線が著しく減少し、バックグラウンドのレベルを下げるができる。

研究グループは、SPRING-8のビームラインから取り出した高輝度放射光(エネルギー約10keV)を利用し、物質・材料研究機構で新たに開発した結晶分光器を持ち込んで実験に取り組んだ。桜井ディレクターによると今回の研究の成功のポイントは、X線の検出・分光のために、従来の半導体検出器に代えて、結晶による回折現象を利用してプリズムのようにX線を分光する結晶分光器を採用したことだ(前ページ図1)。

結晶分光器のエネルギー分解能は半導体検出器よりも格段に優れているが、検出効率が低い、とされる。そこで、研究グループは結晶分光器を小型化し、検出効率を増大させた。小型化するとエネルギー分解能が低下すると信じられていたが、実際にはエネルギー分解能の低下はわずかだった。検出効率の増大という効用がエネルギー分解能の低下という損失を上回ったわけだ。

前ページ図2は研究グループが開発したローランド円半径が120mmの小型の湾曲結晶分光器。研究グループは1つひとつ要素技術を開発し結晶分光器を小型化するとともに、測定・分析技術を高めていった。こうして研究グループは2000年の6月には4fgという超微量のニッケルを測定して、それまでの検出限界(豪州の研究グループが13fgのニッケルを検出)を突破。その後、記録量を1.9fgに高め、今回の成果へといたった。

研究グループは超微量物質の検出技術は、ナノテクノロジーやライフサイエンスなどにさまざまな展開が可能とみている。一例はシリコンウエハー表面の汚染防止。記録量が1T(T=テラ=1兆)ビットに達する超高密度のメモリーの開発に役立つ可能性がある。また環境ホルモンの分析にも有効。超微量物質の濃度変化と病気とのかかわりを調べる研究にも貢献しそうだ。

産業技術総合研究所の秋本G

1p秒以下の光スイッチ実現へ

- 族半導体超格子のサブバンド間遷移を利用
- ### オール光のテラビット通信に道

産業技術総合研究所の超高速フォトニクス計測グループの秋本良一主任研究員(光技術研究部門)らは、

化合物半導体超格子で次世代の超高速光通信に欠かせない光スイッチを実現するメドをつけた。超格子の中で起きる電子のサブバンド間遷移(ISBT)を利用し、現在、光通信で広く利用されている波長が1.55μmの光信号が吸収される現象を観測するとともに、波長が1.8μmの光信号を超格子に照射した時は270f秒という超高速で光のスイッチング動作が起きていることを突き止めた。毎秒1Tビットを超える膨大な光信号を光のまま超高速処理するテラビット通信に道を開く成果だ。秋本主任研究員は一連の成果をまとめた論文をアプライド・フィジックス・レターズ誌(10月14日号)に掲載する。

研究グループが作製した超格子は、Ⅱ族半導体といわれるCdS(硫化カドミウム)とBeTe(ベリリウム・テルル)を接合した量子井戸が基本構造。結晶性を向上させるためにBeTeの薄膜とCdS薄膜の間に、1~2原子層のZnSe(セレン化亜鉛)を中間層として挟んでいる(図1と次ページ図2)。超格子構造はガリウムヒ素(GaAs)基板上に分子線エピタキシー法で作製した。

サブバンド間遷移は超高速動作をする光スイッチ開発のために最も有力視されている手段。最近、世界の有力研究機関が続々と超高速スイッチング動作の報告をしている。

サブバンド間遷移を利用するには、半導体超格子内に作った量子井戸の中の電子の動きがカギを握る。量子井戸の第1準位にある電子に制御光を照射すると、電子は光を吸収して第2準位に飛び上がる。電子が第2準位にとどまっている間は、第1準位には電子が存在しないので、光の吸収が起きない。ちょうど窓が開いた状態になり、その時間だけ信号光が通る。第2準位に飛び上がった電子が光学フォノン(格子振動量子)を放出して第1準位に戻ってくると、再び電子が制御光を吸収して光の窓が閉じられ、信号光が通らなくなる。こうして制御光により信号光をオン・オフさせるスイッチングが可能になる。

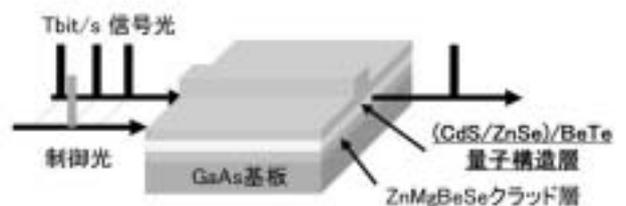
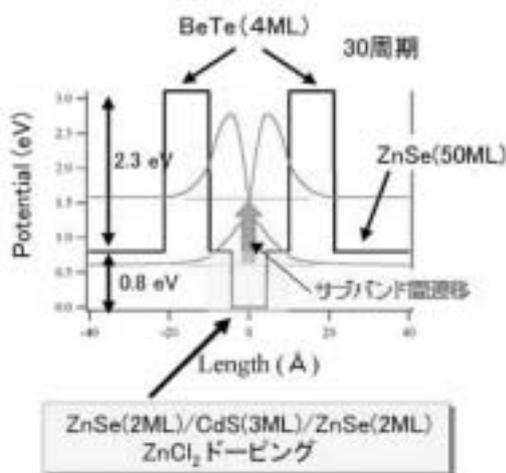
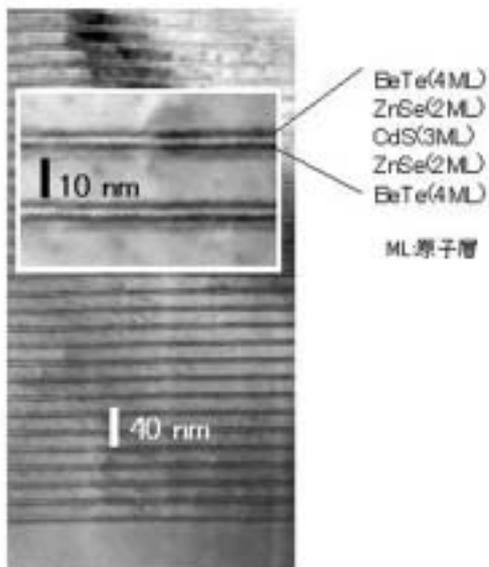


図1 サブバンド間遷移を利用したフェムト秒光スイッチ素子



光通信波長帯付近のサブバンド間遷移吸収を示す超格子構造



超格子構造の透過電子顕微鏡写真

図2 光スイッチ層を形成する (CdS/ZnSe)BeTe量子構造

窓が開いたり閉じたりする時間が短ければ、それだけ高速スイッチングが可能になる。Ⅲ族半導体ではこの時間を1p (p=ピコ=1兆分の1) 秒以下に短縮でき、光信号を電子信号に変換することなくオール光の光スイッチを実現できると期待されていた。

光通信で広く利用されている波長が $1.55\ \mu\text{m}$ の光でISBTを起こすには、超格子内の量子井戸を十分に深くする必要がある。秋本主任研究員らはⅢ族半導体のCdSとBeTeの井戸の深さが3.1eVと特異的に大きいことに着目した。ただ、BeTe上に直接CdSを結晶成長させると、格子定数の違いから平坦な界面ができ

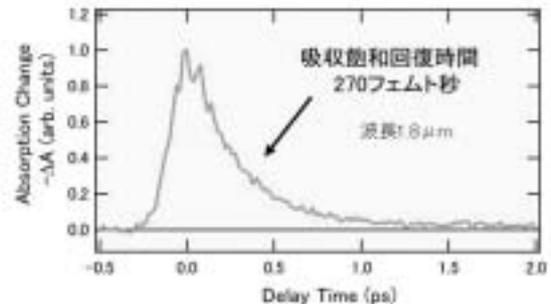


図3 光スイッチング動作の時間応答波形

ない。界面が平坦でないでと遷移がシャープにならないため、1~2原子層の厚さのZnSeを中間層として挟んだところ状況は劇的に改善し、原子レベルで平坦な界面を形成できた。

研究グループはこうして作製した超格子に波長が $1.55\ \mu\text{m}$ の光通信波長帯を含む光を照射して光の吸収現象を観測。また波長が $1.8\ \mu\text{m}$ の光でスイッチング動作の時間を測定したところ、270f秒という良好なデータを得た(図3)。秋本主任研究員は量子井戸を2つ持つ超格子を作れば、光スイッチングの時間は100f秒を切り、一段と超高速化できる、とみている。

サブバンド間遷移を利用した光スイッチの研究では、2001年に米国でサファイア基板上に形成した窒化物半導体の超格子(GaN/AlGaN)を使い、370f秒(波長 $1.7\ \mu\text{m}$)のスイッチング動作を観測した例がある。ただしこの際、使ったのはⅢ族の化合物半導体。Ⅲ族半導体超格子での観測は世界で初めて。Ⅲ族には半導体の世界に広く普及したガリウムヒ素基板を使って高品質の結晶を成長できる利点もある、という。

$1.55\ \mu\text{m}$ 帯の波長の光は現在、光ファイバー通信の幹線系に使われ、NTTなどの通信会社は波長多重化技術(WDM)などを導入して高速化を進めている。だが光で送った信号を、電子デバイスで電子信号に変換し、それを再び光信号に変換するという現行の手法では毎秒40G (G=ギガ=10億) ビット以上に通信速度を高めるのは難しい、という。

そこで、注目されたのが、すべてを光信号のまま処理する光時分割多重(OTDM)技術。産学官が連携して1995年から10年計画で超高速光デバイスなどを研究する「フェムト秒テクノロジープロジェクト」がスタートした。今回の研究成果はその一環。