

UVSOR ストレージリングでの 自由電子レーザー研究

磯山悟朗 (大阪大学産業科学研究所)



理化学研究所/SPring-8のX線自由電子レーザーが稼働して利用実験が行われている現在、自由電子レーザー(FEL)も放射光の1種として広く認知されているように思います。私は、25年ほど前からFELの開発研究を行なっていますが、最初の仕事である分子科学研究所の電子ストレージリングUVSORを用いたFELの開発研究の思い出を書きます。1990年頃以前のストレージリングを用いた短波長FELの状況は、1983年にフランスのストレージリングACOで可視領域(波長650 nm)で最初の発振に成功した後、1988年にロシアのブドカー原子核物理研究所のストレージリングVEPP-3を用いたFELで紫外領域(240 nm)の発振に成功しました。又、ACOの後継であるSuper ACOでのFELでは、1989年に波長300 nmで発振を得ました。これに続く研究は、電子技術総合研究所(当時、電総研)のストレージリングTERASによるFEL実験と分子科学研究所での実験が行われていました。

私は1989年に東京大学物性研究所から分子科学研究所に移り、極端紫外光研究施設のUVSORリングの世話をするようになりました。分子研では、米原博人氏(現JASRI)が可視光領域の自由電子レーザーの開発研究を行なっていました。UVSORリングの直線部にアンジュレーターを設置して上流と下流の偏向磁石部の真空チャンバーに直線部のビーム軸を見るポートを設け、単バンチ電子ビームに対して上流側から波長488 nmのアルゴンレーザーを入射して下流側に置いた検出器で光強度を測定し増幅率を求める実験を行っていました。リングの周長は50メートル程度でバンチの長さは4センチメートル程度である一方、レーザーはCWであるため単バンチ運転時の電子バンチの占有率は0.1%程度です。UVSOR自由電子レーザーの増幅率の予想値は0.1%程度ですから100万分の1の変化を測る難しい実験です。米原氏はこの実験に成功する前にSPring-8の建設に参加するため原子力研究所(当時)に移動しました。私は、UVSOR光源加速器の仕事で手一杯でしたが、井口洋夫分子科学研究所所長(当時)が自由電子レーザーの研究を引継いでほしいとのご希望でした。そのためには人を増やして欲しいという希望を認めて頂き、高野史郎氏(現SPring-8)と浜広幸氏(現東北大)と共に自由電子レーザーの研究を始めました。

増幅率の測定に必要なハードウェアは揃っていたので直ぐに実験を始めることが出来ました。電子バンチが通過する時だけ入射レーザーが増幅されるため電子バンチの周回周波数の信号を捉えればよいのですが、そこには増幅されたレーザー光だけではなく、アンジュレーター放射が回転周波数に同期して放射されるため、増幅信号と区別が出来ずこの方法は使えません。自由電子レーザー用のアンジュレーターは平面型のため、増幅は入射レーザーの偏光方向が電子ビームの蛇行面に一致する時に最大になり、直交するとゼロになります。直線偏光の方向を電氣的に速い速度で変えられる光弾性変調器を用いて1 kHzの周波数で偏光方向を90度の範囲で振り、変調周波数と同期した信号の強度変化より増幅率を求めます。電子ビームの下流

側でアンジュレーター放射の中心を求め、上流側の真空用窓の中心に入射したレーザービームを下流側の中心に合わせます。

準備万端整って実験を始めましたが、一向に信号が出ません。疑わしいのは入射したレーザービームと電子ビームが正確に重なっているか否かです。何度も試行錯誤を繰り返しましたが、なかなかうまく行きません。打開策として、ロシアのブドカー原子核研究所のニコライ・ビノクロフ氏の招聘を井口先生にお願いしました。ビノクロフ氏の分子研滞在は1週間足らずでしたが、自由電子レーザーの実験に参加して増幅率測定の実験を行いました。ビノクロフ氏は、ビームラインの下流側からセオドライトを用いてアンジュレーターを覗き込みました。入射レーザーのウエストがあるアンジュレーター中央に焦点を合わせると、入射したアルゴンレーザーの青色円形ウエストと、アンジュレーター放射による白っぽい楕円形の電子ビーム断面が手に取るように見えます。更に焦点位置を変えるとレーザーウエストがあるアンジュレーター中心から軸方向にずれた位置での両者の位置関係も分かります。この方法でレーザーの位置と角度を見ながら電子ビームと合わせることが容易に出来ます。教われば簡単なことですがこのような分野での経験が無く考えつきませんでした。これにより増幅率の測定が直ぐにできました。この手法は発振実験で光共振器の光軸と電子ビームの軸を一致させる時にも使えます。

標準型アンジュレーターで増幅率の測定に成功した後、増幅率を1桁高めるためにアンジュレーターを光クライストロン型に改造して、1992年に波長460 nmで自由電子レーザーの発振に成功しました。最初に発振した時は、光共振器内の真空チェンバー内部がガラス窓越しに真青に光り輝き、今でも目に浮かぶ感動的な素晴らしい光景でした。私は現在、テラヘルツ領域の自由電子レーザーの研究を行っていますが、目に見える波長域での実験は良いものだと思います。この後、紫外領域(300 nm)でのFEL発振も達成しました。

電総研では山崎鉄夫氏がFEL研究を行っていました。UVSORと比べるとTERASでのFEL実験は条件が厳しいのですが、分子研に先立つこと1年前の1991年に波長598 nmでの発振に成功しました。その後、分子研と電総研の両方でFELの担当者が替りましたが、FEL研究は更に発展しました。