

超高压高温実験とマイクロビームの必要性

八木健彦（東京大学物性研究所）

ダイヤモンドアンビル装置の発展に伴い超高压実験の圧力領域は飛躍的な拡大を遂げ、今や 100GPa（約 100 万気圧）を越す超高压下の X 線実験が多くのグループで行われるようになった。この圧力領域では、物質の結晶格子が単純に縮むだけでなく、その電子構造も大きく変化するため、絶縁体や半導体の金属化をはじめとした多様な物理の研究が可能になってきた。一方、このような圧力領域の拡大と共に、高压実験における試料室容積は減少の一途をたどり、より極端な条件の実験にはより小さなビームの利用が不可欠になっている。

図 1 はダイヤモンドアンビル装置による高压高温実験の様子を模式的に示したものである。高压実験に用いられる宝石用の単結晶ダイヤモンドは、通常大きさが 0.2 カラット程度であり、大きくなると価格が急激に高くなるほか、不純物やマイクロクラック等の不完全性が含まれる確率も体積に比例して増加するため、これよりあまり大きなダイヤモンドをアンビルとして用いることは現実的ではない。同じ大きさのアンビルでより高い圧力を発生させようとするれば、狭い領域に力を集中させる必要があり、必然的に試料室の容積は減少の一途をたどる。100GPa の発生には通常、アンビルのキ

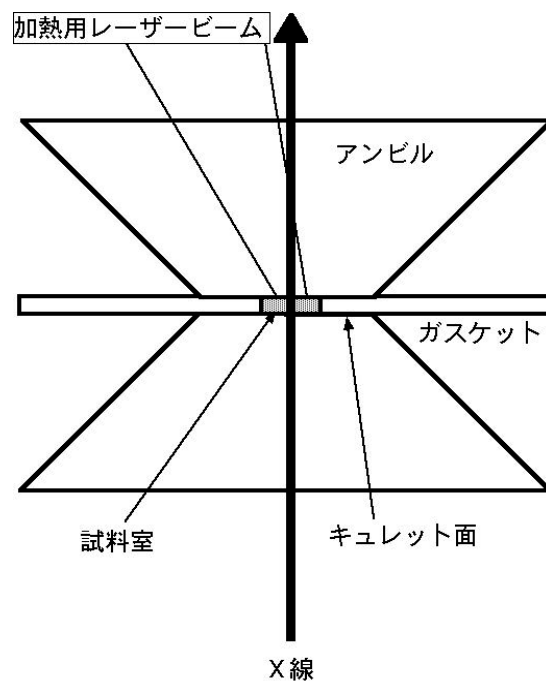


図 1. レーザー加熱ダイヤモンドアンビル装置の試料室付近の模式図。

キュレット面の大きさが直径 200 μm 程度のものがよく用いられるが、より高い圧力の発生のためには、より小さなキュレットのアンビルが必要となり、キュレットサイズが 50 μm 程度のアンビルも使用されるようになってきている。

試料室の大きさは通常キュレットサイズの 1/3 以下であり、試料室内の圧力が一様ならば、試料室より少し小さなビームを照射すれば充分である。しかし一般には、試料室内部に大きな圧力勾配ができるため、中心部付近の圧力勾配がゆるい領域だけ見込むようにして実験する必要がある。そのため、現在でもしばしば直径 15 μm 程度のマイクロビームによる測定が広く行われている。

以上の議論は、試料室内の温度が一様な、室温もしくは低温実験の場合であるが、レーザー加熱による高温実験の場合は、さらに条件が厳しくなる。レーザー加熱は当初、比較的広い領域を加熱しやすい大出力の炭酸ガスレーザーとの組み合わせが試みられた。しかし波長が 10.6 μm と長いために、ダイヤモンドによる吸収が大きいことや、加熱領域が広いためエネルギー密度が上がらず、50GPa 以上の領域では試料が薄くなって熱の逃げが大きくなり加熱が極めて困難になる。そのため最近では波長が 1.06 μm の YAG レーザーや YLF レーザーが一般的に使われている。しかしこれらのレーザーでガウス分布の強度プロファイルを持つ TEM00 のシングルモードを用いると、中心部 10 μm 程度の領域の外側には極めて急な温度勾配が生成する。そこで現状ではより広い領域を加熱できるマルチモードや TEM00 と TEM01 の 2 つのモードの重ね合わせが用いられ、X線ビームとしても 10-15 μm 程度のマイクロビームの利用が一般化している。しかしより極端な条件下の実験には、一層細いビームの利用が必要となってこよう。

このように実験の圧力温度領域の拡大と共により細いビームの必要性が増大しているが、実験対象の拡大により、さらに輝度の高いビームの必要性も増加している。従来は高圧 X線実験で対象となる物質は比較的原子番号の大きな物質が多かったが、高圧科学の発展と共に水素やヘリウム、リチウムなどの軽元素やそれらから構成される化合物の超高压下のふるまいに興味を持たれてきている。これら軽元素からなる物質に関しては、今までは X線実験が困難なため主としてラマン散乱や赤外吸収、電気伝導度による研究が行われてきたが、それらの実験結果の解釈にも結晶構造の解明が不可欠となり、X線回折実験の必要性が増大している。シンクロトロン放射光を用いた超高压下の水素の単結晶 X線回折実験が報告されて(Loubeyre et al., 1996)、水素の構造を X線で見ることができると驚いたのは 1990 年代であったが、最近ではさらに輝度の高い X線を用いて、粉末 X線回折実験も行われるようになってきた(Kawamura et al., 2001)。

最近はさらに、非弾性散乱の実験も行われるようになってきて、細いビームでより

強い強度がほしいという要望が高まっている。Mao et al.(2001)は特別にデザインしたダイヤモンドアンビル装置と検出器等を組み合わせ、153GPa までの超高压下で鉄の非弾性核共鳴散乱の実験が可能であることを示し、多くの高压研究者を驚かせた。彼らは ESRF のビームラインで 5 μ m に絞ったビームを超高压下の鉄試料に照射し、測定に成功している。しかしまだデータの質は決して高いとは言えず、データーの室の向上にはより強いビームが必要であることを力説している。

このように、高压実験ではその圧力・温度領域や実験対象、および測定手法の拡大と共に、より細くより高輝度のビームに対する要望は強くなる一方である。逆に超高压下の非弾性散乱の実験は、第3世代の高輝度のX線ビームが使えるようになって初めて可能になったもので、この先もより優れたマイクロビームが使えるようになれば、より多様な、新しい研究分野が拓かれてくるであろう。

参考文献：

Kawamura, H. et al., Solid State Communication, **119**(2001) 29.

Loubeyre, P. et al., Nature, **383** (1996) 702.

Mao H. K. et al., Science, **292** (2001) 914.