

固体水素の高分解能ブリルアン分光

電子物性工学科 佐用 康陽

1. はじめに

固体水素の特長として光学遷移のスペクトル線幅が気相に比べても十分に狭い値を示すということが挙げられる。つまり固体水素は気相原子の長所と固体の長所の両方を兼ね備えた結晶であると言える。このことから固体水素は非線形媒質に適していると言える。本実験ではこのような長所を活かし固体水素の高分解能ブリルアン分光を行うこと、また固体水素の非線形媒質としての評価を行うことを目的としている。

2. 固体水素結晶の作成

水素はパラ水素とオルソ水素が3 : 1の割合で存在しており両者間の変換速度は非常に遅いため全く別の物質として考えられる。そこでオルソ水素を金属触媒により0.1%以下にした状態で実験を行う。まず液体水素はコンバーターを通り金属触媒によってパラ水素に変換されホットセルへ運ばれる。その後セルへ移された液体水素は30気圧の加圧下で15Kから徐々に温度を下げながら成長させ、成長終了後は5 Kまで温度を下げる。この時、ホットセルの温度を調整することでセルの圧力を一定に保つことができる。(図1)

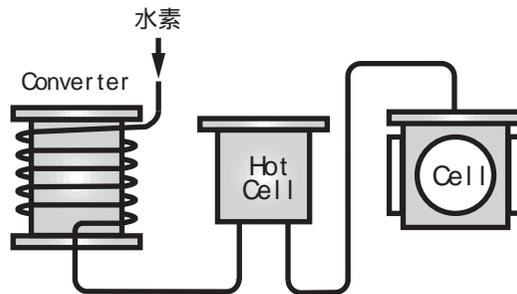


図1. 固体水素作成装置の概略図

3. QD-BIKES

本実験で行った分光法はQD-BIKESと呼ばれるものでプローブ光とパンプ光をサンプルセルに対向に入射させたときの2つの光の周波数差がブリルアンシフトに一致した時のプローブ光の偏光の変化をヘテロダイン検出により測定する方法である。QD-BIKESの基本的なセットアップを図2に示す。

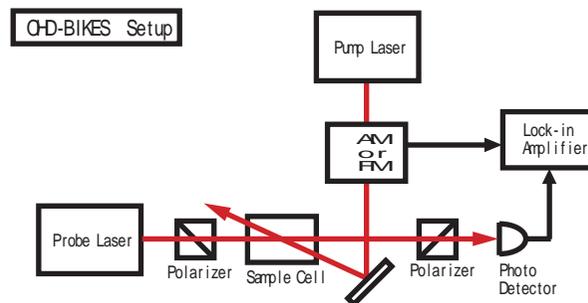


図2. QD-BIKES セットアップ

CHD- BIKESの特長としては

レーザーによって音響モードが強制的に誘起されているために大きな信号が期待できる。信号光がコヒーレントな光束として生じるのでノイズを除去しやすい。波数ベクトルの位相整合条件が自動的に満たされているのでパンプ光とプローブ光とのなす角を可能な限り小さくすることができ、相互作用長を長くすることができる。

ということが挙げられる。

図3にBIKES過程のエネルギースキームを示す。それぞれはプローブ光、はパンプ光、 b は誘起される音響モードの周波数となる。プローブ光とパンプ光を対向に入射させ周波数差がブリルアンシフトに一致した時に音響モードが誘起される。誘起された音響モードがパンプ光と相互作用することによってプローブ光と同じ周波数を持つ信号が得られる。

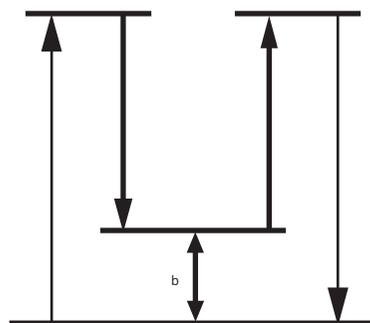


図3 . BIKES過程のエネルギースキーム

4 . 実験の高精度化

さらに高精度な測定を行うためにRbの吸収線を利用した。プローブ光は Rb87 $f_{\text{rm}} F=1$ (図4を参照) の最も高周波側のスペクトルに周波数ロックする事によって周波数の安定化を実現している。またRbの吸収線をマーカーとして用い、掃引している Ti:sapphireレーザーの周波数を波長計でモニターし、その周波数に比例した波長計のアウトプット信号でRb85 $f_{\text{rm}} F=3$ とRb87 $f_{\text{rm}} F=2$ の間を内掃することによって $\pm 10\text{MHz}$ の精度での測定を可能にしている。

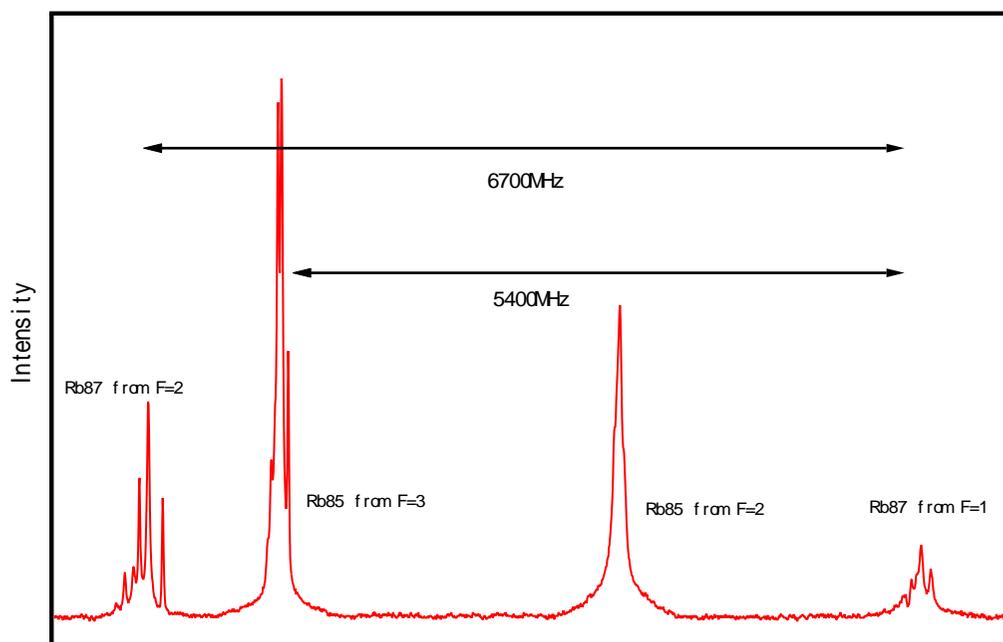


図4 . Rbの吸収線

5. 実験のセットアップ (図5)

パンプ光には波長 780nm の Ti:sapphire レーザーを使用している。また ACM による 100 kHz の強度変調を行っている。

プローブ光はリトロ配置の外部共振器を組んでいる半導体レーザー (Master Laser) を外部共振器の組んでいない半導体レーザー (Power Laser) に入射させ注入同期を行うことで出力の増加、スペクトル線幅の狭窄化、発振周波数の制御を行っている。さらに外部共振器を組んでいる半導体レーザーは Rb の吸収線によって周波数ロックしている。

パンプ光とプローブ光はサンプルセルに対向に入射させる。サンプルセルの前後ではクロスポラライザーが組み立てられておりパンプ光とプローブ光の周波数差がブリルアンシフトに一致したときのプローブ光の偏光の変化をこのクロスポラライザーからの光の漏れにより測定する。またヘテロダイン検出を行うためにサンプルセル後ろの偏光ビームスプリッターを少し傾けることによって信号光とプローブ光を混ぜている。

また前述したように得られる信号と波長計のアウトプット信号、Rb の吸収線を同時に測ることによって実験の高精度化を行っている。

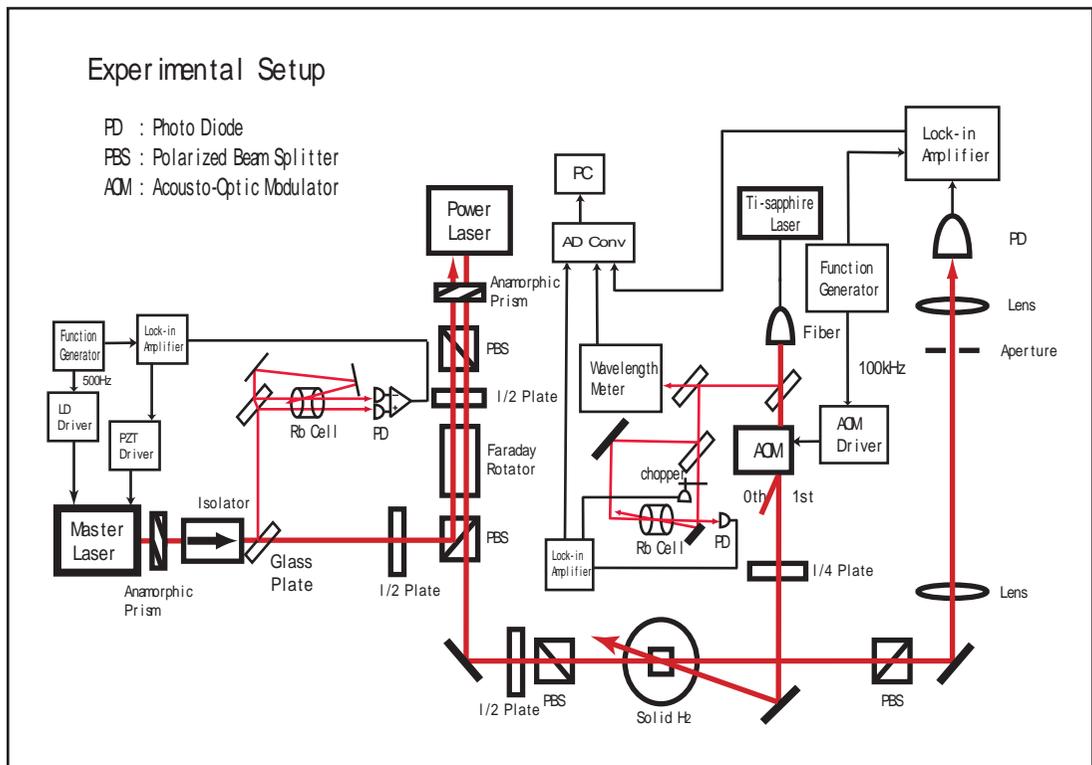


図5 . セットアップ

6. 実験結果

今回の実験で得られたスペクトルを図6に示す。 は固体水素のスペクトル、 は Rb の吸収線、 は波長計のアウトプット信号となっている。

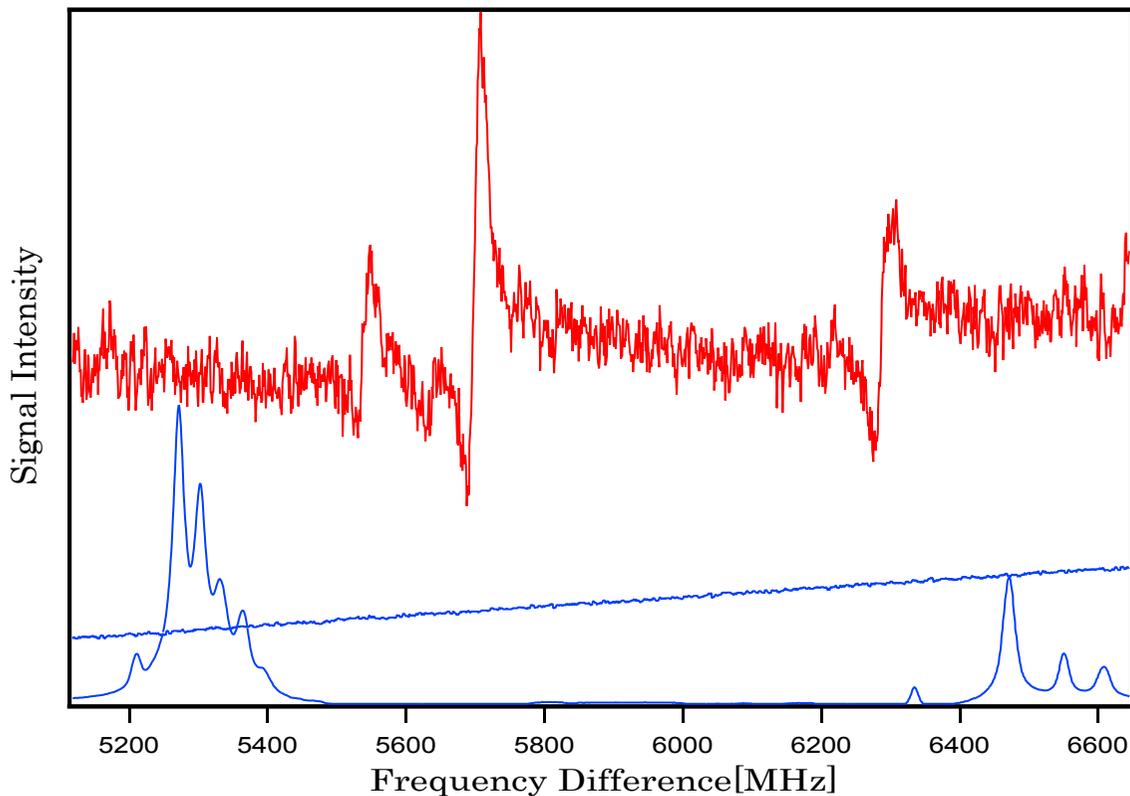
今回の実験ではブリルアンシフトは 5.4~ 6.4GHz の間に 3本のスペクトルが得られた。それぞれのスペクトル線幅は 10~ 20MHz であった。

実験結果をまとめると

ブリルアンシフトが5.4~ 6.4GHzの間で得られた事から今回得られたスペクトルは全て縦波である事
3本のスペクトルが得られた事から今回の結晶にはそれぞれC軸の違う3つの結晶が存在する事

などが考えられる。

図6 . 実験結果



7 . まとめと課題

今回、CHD-BIKESを行うことでレーザーを当てた部分だけの局所的な結晶の情報が得られた。このことからCHD-BIKESが結晶の評価という点でも有効な手段であると考えられる。

最後に今後の課題としては

固体水素のC軸を決定し分散曲線を書く
よりきれいな単結晶の作成

などが挙げられる。