

[13P-46]

Far-infrared absorption spectroscopy for liquid water with the coherent transition

M. Takanaka*, M. Nakamura, S.Okuda, R.Kato, T.Takahashi^a, S.K.Nam^b

The Institute of Scientific and Industrial Research, Osaka University
8-1 Mihogaoka, Ibaraki, Osaka 567-0047, Japan

^aResearch Reactor Institute, Kyoto University

Kumatori, Sennman, Osaka 590-0494, Japan

^bDepartment of Physics, Kangwon National University,

Chunchon, 200-701, Korea

Abstract

High-intensity electron beams are generated with the 38MeV L-band linear accelerator at The Institute of Scientific and Industrial Research, Osaka University. The coherent transition radiation from the beams is highly intense and has a continuous spectrum in a sub-millimeter to millimeter range of wavelength. The absorption of light in water in far-infrared regions is considerably strong. In the absorption spectroscopy for such materials intense light sources are required. Recently we started the application of the radiation to absorption spectroscopy. This report presents the results for the absorption spectroscopy using the new far-infrared light source.

コヒーレント遷移放射による遠赤外領域での水の吸収分光測定

1、初めに

高エネルギー電子バンチからのコヒーレント放射は高強度であり、ミリ波・サブミリ波領域で連続スペクトルをもつ光源としての利用が期待され、その基礎研究も行われている [1, 2]。阪大産研では、38MeV Lバンド電子ライナック [3] からのマルチバンチビームの条件を最適化し、コヒーレント遷移放射を利用した光源を確立した。遠赤外領域の光の水による吸収はきわめて大きく、高強度の光源でないと光の透過率などの測定が困難である。我々はこの光源が高強度であるという特徴をいかして液体の吸収分光測定を開始した。

2、コヒーレント放射の原理と特徴

遷移放射、シンクロトロン放射のように連続スペクトルを持つ放射過程において、電子バンチからの放射強度は、次式のように与えられる。

$$P(\lambda) = p(\lambda)N[1 + Nf(\lambda)] \cdots (1)$$

p : 1電子からのインコヒーレントな放射

N : バンチ内の電子の個数

λ : 放射の波長

ここで、 $f(\lambda)$ はバンチ形状因子と呼ばれ、次に示すようにバンチ内の電子の分布関数であらわされる。

$$S(x) = \left| \int S(x) \exp i \left(\frac{2\pi x}{\lambda} \right) dx \right|^2 \cdots \cdots (2)$$

$S(x)$: 規格化された電子の数

x : 電子ビームの軸上の距離

(1) 式よりバンチ形状因子が 1 に近いと、すなわち波長がバンチ長より十分大きいと、放射の強度はバンチ内の電子数の二乗に比例する。このコヒーレント放射は、ライナックによって加速された電子バンチの長さと同程度、あるいはそれ以上の長波長領域では、極めて高強度である。

今回の実験では、誘電率の異なる物質の境界面を荷電粒子が通過するとき生じる遷移放射を利用した。コヒーレント放射の特徴としては高強度

*M.Takanaka,takana03@sanken.Osaka-u.ac.jp

であること、ミリ波・サブミリ波領域で連続スペクトルを持つこと、短パルスであることなどがあげられる。

3、実験条件

3.1 電子ビーム及び測定系の条件

本研究で用いた産研ライナックのビーム条件を表1に示す。吸収分光測定で安定な光を得るために、バンチ間隔 770 ps のマルチバンチビームを利用した。最も放射強度が高くなるように、加速器のバンチャーと加速管のマイクロ波の条件を変化させた。回折格子の分解能は 1% で、バンチ間での光の干渉の影響は無視できる。吸収分光測定の実験配置を図1に示す。SUS板から出たコヒーレント遷移放射を加速器室外の回折格子を使用した分光器に導き、検出器で測定を行った。検出器は液体ヘリウム冷却シリコンポロメーターを用いた。ビームスプリッターで分割した光をビームの変動を補正するため利用した。

3.2 放射強度の安定性の測定結果

光源として利用するコヒーレント遷移放射の安定性を測定した。ビーム条件はマルチバンチビーム繰り返し 2 pps、測定条件は、波長 1mm、積算回数 25 回で行った。光の強度の変動は±2.8%であった。光源として利用するための、比較的安定なコヒーレント遷移放射が得られた。ビームスプリッターで分割した光を用いてビームの変動を補正することによりこの光強度の変動を抑える。

3.3 ホルダー・窓板の特徴

試料の厚さを固定し、温度が変えられるホルダーを製作した。ホルダーの概念図を図3に示す。試料の厚さはスペーサーを挿入することによって調節し、試料の温度はシリコンラバーヒーターと冷窒素ガスを用いることにより 0℃ から 100℃ まで調節できる。窓板として用いる厚さ 3mm の無水石英の透過光スペクトルを窓板がない場合を 1 として図4に示す。このスペクトルには、窓板と空気の境界面における反射の効果によってスペクトルに周期的な振動が認められるが、測定波長領域で比較的光の吸収が少なかった。

表1 電子ビームの条件

Energy	20 MeV
Accelerator frequency	1300 MHz
Beam mode	multibunch beam
Macropulse length	1.5 μm
Beam current	300 mA
Pulse repetition rate	2-10 pps

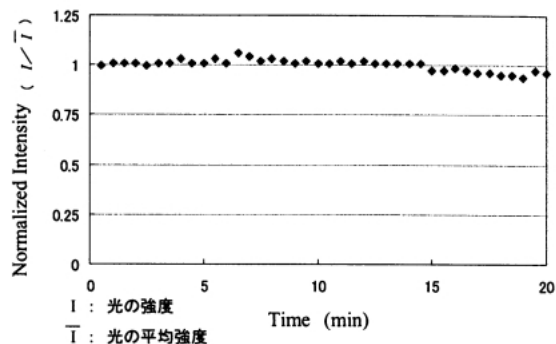


図1 放射強度の安定性

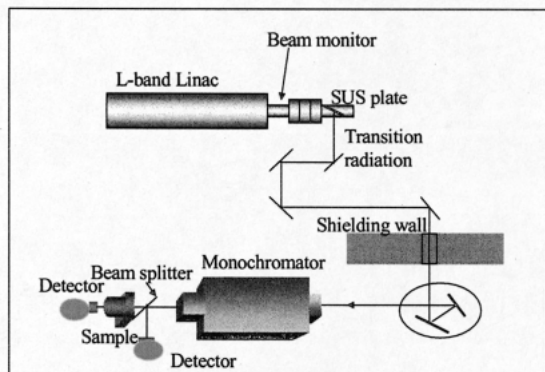


図2 測定配置

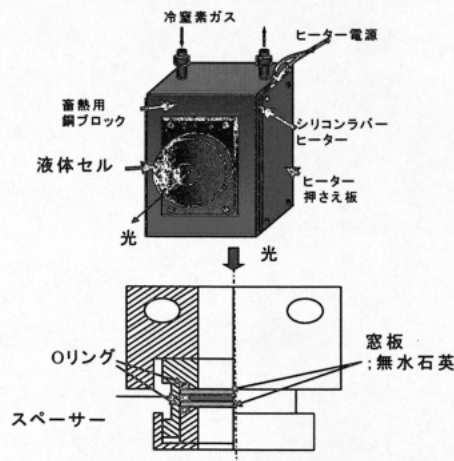


図3 試料ホルダーの概略図

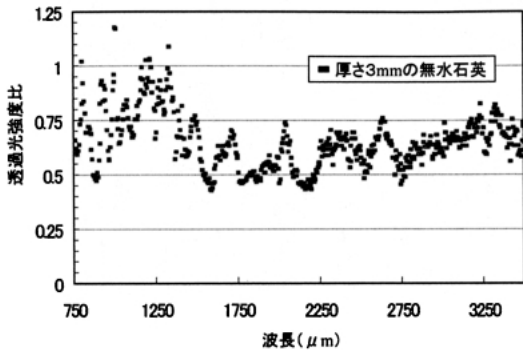


図4 試料窓板の透過光スペクトル

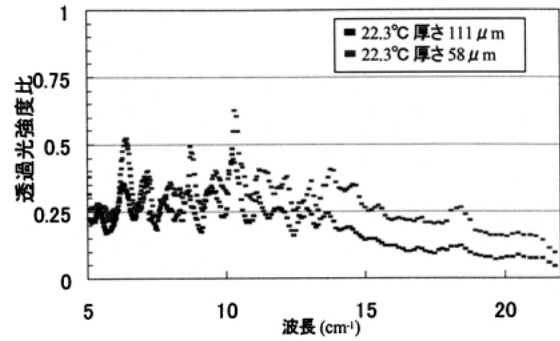


図5 室温の水に対する透過光スペクトル

4、実験結果および考察

波長領域 0.5~2mm で室温、50℃、70℃での水の吸収分光のための測定を行った。3回の測定で再現性が確認され、その平均値を求めた。図5の透過光スペクトルは、横軸に波長 (cm⁻¹)、縦軸に室温 (22.3℃) の水を満たしたセルの透過光強度と、何も無い状態の透過強度の比を表している。このため、無水石英窓板による弱い光吸収、および窓板と空気・試料の境界面における反射の効果によって、透過光スペクトルに周期的な振動が認められた。試料に対する光の透過率を得るために、この現象を考慮した解析を行っている。

図6の透過光スペクトルは、水の温度 (室温・70℃)、厚さ (58μm・111μm) を変化させた時の透過光スペクトルを表したものである。同様に周期的な振動が観察される。また、水の温度の上昇、厚さにともない透過光強度の減少が観測される。原因として水の温度上昇に伴い水素結合が弱くなるためであると考えられる [4]。

5、結言

マルチバンチビームからのコヒーレント遷移放射を光源として、ミリ波・サブミリ波領域での液体の吸収分光測定を行った。現在、透過光強度の解析によって得られる透過率から吸収係数、屈折率を求めるための解析を行っている。又、重水、メタノール、エタノールについても測定を行う。

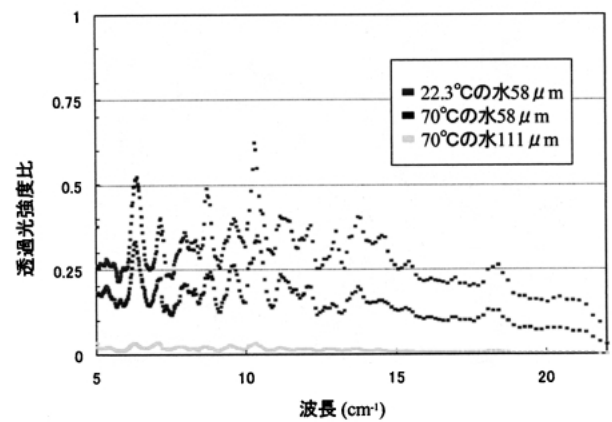


図6 温度・厚さを変化させた時の水に対する透過光スペクトル

参考文献

- [1] T. Tkahashi, T. Matsuyama, K. Kobayashi, Y. Fujita, Y. Shibata, K. Ishi and M. Ikezawa, Rev. Sci. Instr. 69 (1998) 3770.
- [2] S. Okuda, M. Nakamura, K. Yokoyama, R. Kato, T. Takahashi, Nucl. Instr. And. Meth. A (in press).
- [3] S. Okuda, Y. Honda, N. Kimura, J. Ohkuma, T. Yamamoto, S. Suemine, T. Okada, S. Takeda, K. Tsumori and T. Hori, Nucl. Instr. and Meth. A 358 (1995) 290
- [4] M. N. Afsar and J. B. Hasted, J. Opt. Soc. Am. 67, No. 7 (1977) 902