



表面・界面(固体-液体-気体) 分子振動解析／非接触測定

和周波発生

SFG 分光システム



接着／接合界面を非破壊＆非接触で分子構造を測定

表面／界面の構造解析、
大気中においての表面化学反応、
表面ダイナミクス、電気化学、エピタキシャル成長などの研究

非接触測定で、表面・界面(固体・液体・気体)を分子振動解析

SFG（和周波発生）分光は、二次非線形光学効果を利用した振動分光法です。この分光法は、高い界面選択性をもつため、表面もしくは界面の単分子層の分子振動構造・配向の解析が可能です。表面（界面）に赤外光の波長を掃引して測定することで分子をスペクトルより特定し、偏光方向の組合せ（SSP/SPS/PPP）を変えて測定することで、分子配向を解析することが出来ます。赤外光の波長範囲は $4300 \sim 625 \text{ cm}^{-1}$ ($2.3 \text{ }\mu\text{m} \sim 16 \text{ }\mu\text{m}$)、分解能は $< 3 \text{ cm}^{-1}$ です。絶対分子配向の決定が可能な位相敏感 SFG オプション、SFG 顕微鏡オプションもご用意しています。



特長

- 表面、界面の分子振動解析（構造・配向）
- 各種界面の測定
 - ・ 固体－気体 ・ 液体－気体
 - ・ 固体－液体 ・ 液体－液体界面
- 非破壊、非接触測定
- 高感度検出：サブモノレイヤの計測
- 埋没界面を含む多様な界面、表面を計測可能

システム構成

- ピコ秒 YAG レーザー
- 光パラメトリック発振器 / 差周波発生器（OPG/DFG）
- SFG 光学系
- 分光器
- 信号測定系 PMT
- CCD 検出器（オプション）
- データ計測ユニット
- 制御ソフトウェア
- アライメント用ガイドレーザー

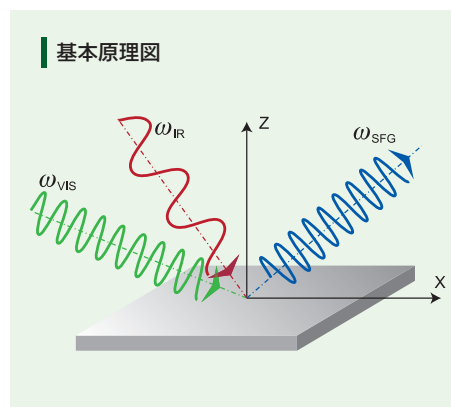
オプション

- Phase-Sensitive（位相敏感）SFG 測定
- SFG 顕微鏡
- 二重共鳴：波長可変可視レーザー光として OPG を追加
- SHG 分光
- サンプル用ページボックス

基本原理と装置概略図

和周波発生システムは、表面（界面）に波長を固定した可視域レーザー光（周波数 ω_{vis} ）と波長可変赤外レーザー光（周波数 ω_{IR} ）を照射し、その際に発生する和周波光 SF（ $\omega_{\text{SFG}} = \omega_{\text{vis}} + \omega_{\text{IR}}$ ）を計測します。和周波光は、赤外域レーザー光の振動数と計測表面の分子の振動数が一致するときに発生します。

- 接着・接合界面（埋没界面）を非破壊計測
- 電極・触媒表面の界面反応
- 表面・界面の構造解析
- 大気中における表面化学反応、表面ダイナミクス
- 電気化学、エピタキシャル成長などの研究



SFG測定オプション

ピコ秒スキニングSFG

ピコ秒スキニング SFG は、レーザー光源ユニット (PT501) と分光モジュールの2ユニットで構成されており、省スペースで高性能な設計を実現しています。PT501 は、和周波発生 (SFG) 測定に必要な可視光および赤外光の波長変換を担い、生成された光は分光モジュールに送られ、測定が行われます。スペクトルスキャン、偏光制御、レーザー強度調整などのすべての操作は PC からのリモート制御が可能で、柔軟かつ高精度な測定環境を提供します。

中赤外可変波長ピコ秒レーザー

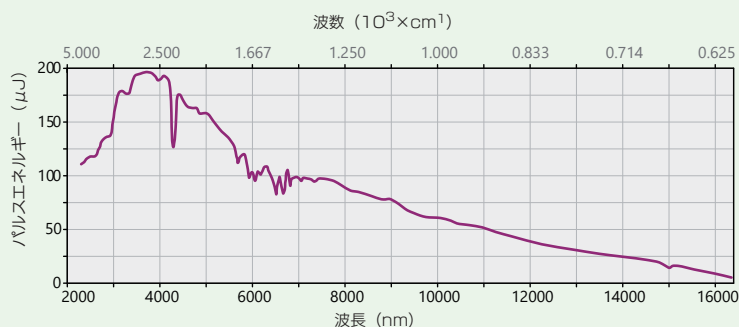
PT501

ピコ秒SFG分光計

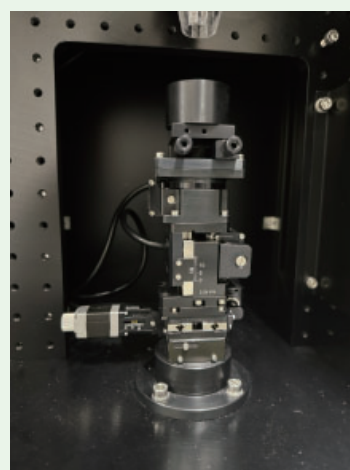
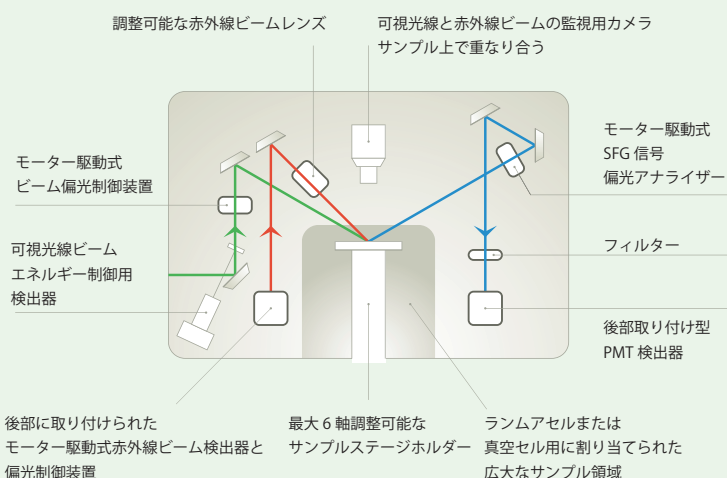
SFG module

高性能ピコ秒OPA/DFG統合型レーザー PT501

PT501 は、ピコ秒 OPA/DFG を統合した高性能レーザーシステムです。堅牢な一体構造により、設置が容易で、長期にわたる高い安定性と優れた保守性を実現しています。改良された設計により、従来モデルに比べてより低波数（長波長）領域へのアクセスが可能となり、和周波分光の測定範囲が更に広がりました。また、時間同期制御された高速モーターを搭載しており、わずか数秒で赤外波長域全体のスキャンが可能です。



SFG測定モジュール



▲ 電動制御ステージ

SFG 測定モジュール内はカスタマイズ可能で、各種拡張機器や追加装置の組み込みに対応しています。これにより、測定環境の拡張が可能となり、より高度な測定が実現します。空気/水界面や脂質/空気界面の研究に対応するラングミュア・プロジェクト槽や、温度・ガス雰囲気制御セル等も設置可能です。

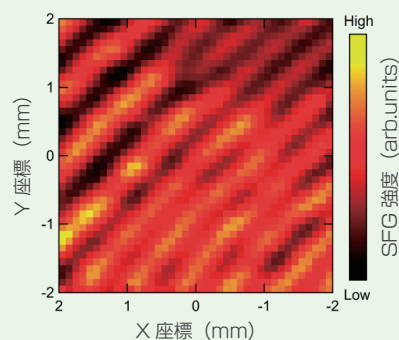
気密加熱サンプルセル

SFG 分光計専用設計された気密構造の加熱サンプルセル（温度範囲：20 ～ 70 ° C）は、ガス雰囲気中および温度制御下での高精度な測定を実現します。



電動制御ステージ

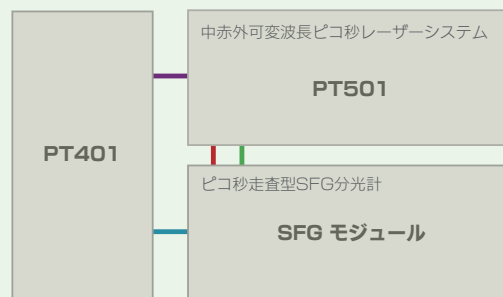
試料ステージを電動制御することで、試料の高精度な位置合わせや測定ポイントの選択が可能となります。さらに、ステージ制御によって自動マッピング測定にも対応し、高空間分解能のデータ取得を実現します。



二重共鳴オプション

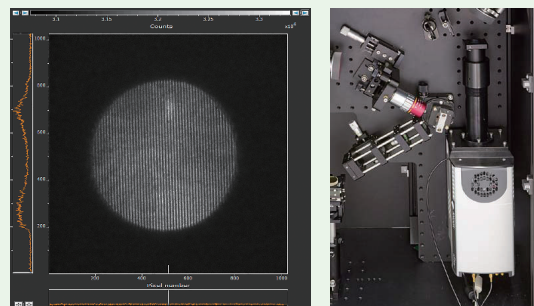
二重共鳴 SFG 分光計では、赤外光および可視光の両方が波長可変で、より選択性の高い二次元分光測定が可能です。これにより振動モードと表面電子状態の結合を精密に解析できます。可視光には、420 ～ 680 nm の波長範囲を使用可能で、試料が従来の 532 nm に強い吸収を示す場合にも対応可能です。二重共鳴測定には、2 台のレーザーシステム PT501 と PT401 を使用し、両者は光学的に同期されています。この構成により、高い波長精度と安定性を両立しています。

可視光スペクトル範囲
調整可能な
ピコ秒レーザーシステム



SFG顕微鏡

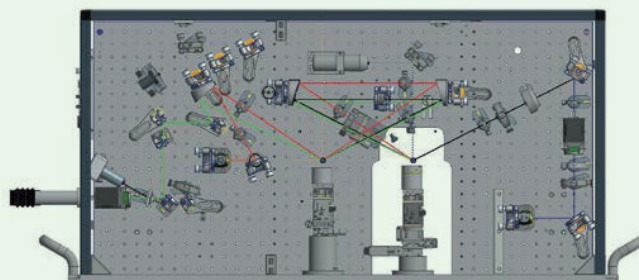
ICCD カメラにより、マイクロメートルオーダーの空間分解能で表面のイメージ測定が可能になります。特定の波長における SFG 信号の空間分布が測定できます。また、波長を掃引しながらイメージを取得することによりスペクトル測定が可能になります。



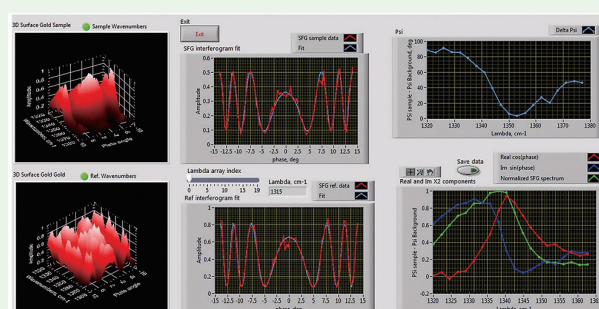
▲ 金サンプル 露光時間 1 秒 60 回積算

位相敏感SFG

位相敏感型 SFG 分光計では、従来の SFG では失われてしまう和周波の位相を測定します。参照試料及び測定対象試料の和周波の干渉を測定する事により、位相情報を得ることができます。これにより試料の表面 / 界面における分子基の配向や傾斜角を一意に決定することが可能です。SFG 分光モジュール内の光学系は、従来の SFG と位相敏感 SFG で切り替えが可能です。



▲ 位相敏感測定光学系セットアップ



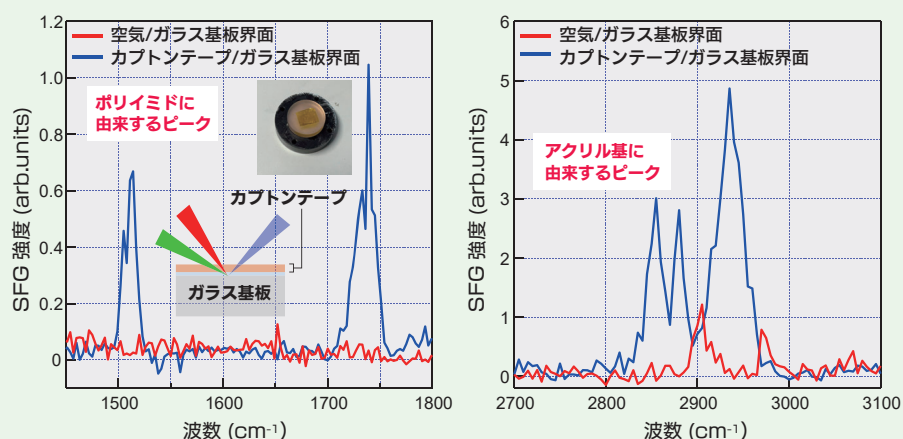
▲ 位相敏感測定解析インターフェース

ピコ秒スキャンングSFG仕様表

モデル	SFG	二重共鳴 SFG	位相敏感 SFG
波長範囲	625 ～ 4300 cm ⁻¹	1000 ～ 4300 cm ⁻¹ (可視光：420 ～ 680 nm) 625 ～ 4300 cm ⁻¹ (可視光：532 nm)	1000 ～ 4300 cm ⁻¹
波長分解能	< 3 cm ⁻¹		
スペクトル取得方式	赤外波長スキャン		
ビーム照射方向	可視光 / 赤外光：上側斜め方向、SFG 光：反射 (他ジオメトリも可)		
入射ビームジオメトリー	ノンコリニア		
入射ビーム角度	固定、可視光：約 60°、赤外光：約 55°		
可視光波長	532 nm	532 nm および 420 ～ 680 nm	532 nm
偏光 (可視光、赤外光、和周波)	直線 (縦偏光 / 横偏光), ソフトウェアにて切替		
赤外光スポットサイズ (サンプルにて)	可変 (200 ～ 600 μm)		固定
感度	空気 - 水界面測定可		固体試料
励起レーザー			
モデル名	PT501		
パルス幅	29 ± 5 ps		
繰り返し周波数	100 Hz		
二重共鳴オプション励起光源	-	PT401	-
システム寸法			
典型値	1300 × 1200 mm	3000 × 1500 mm	1400 × 1200 mm

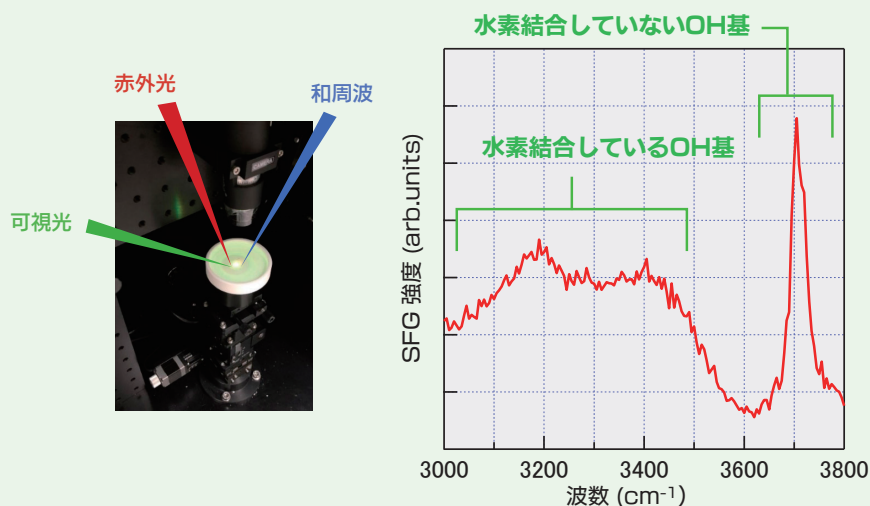
測定例 1：ガラス基板 / カプトンテープの埋もれた界面の測定

カプトンテープに含まれるポリイミド及び接着剤に含まれるアクリル基に由来するピークの観測に成功しました。



測定例 2：水の最表面の測定

水素結合していない OH 基に由来するピーク及び水素結合している OH 基に由来するピークの観測に成功しました。

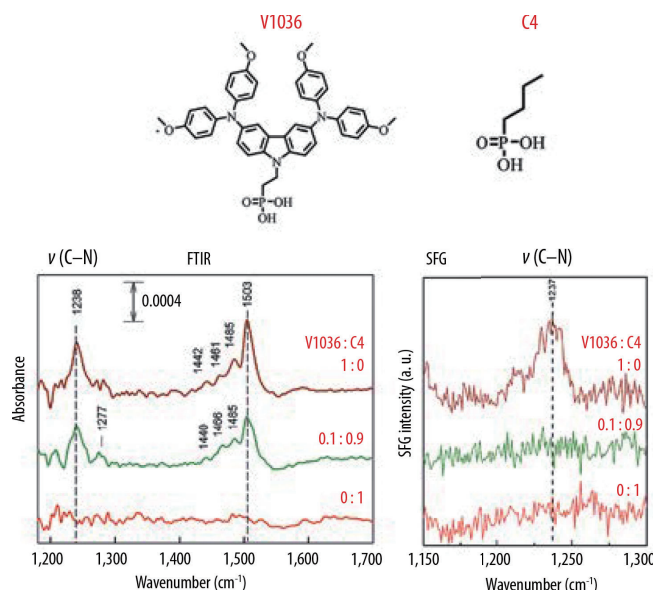


測定例 3：ペロブスカイト太陽電池材料

ペロブスカイト太陽電池の性能に関わる単分子膜の分子配向を可視化し、他の分光法では検出困難な界面の秩序性の違いを捉えることに成功しました。また興味深いことに界面の分子配向性とデバイス性能が反比例することが明らかになりました。

右図は、参考文献[*]より画像を引用

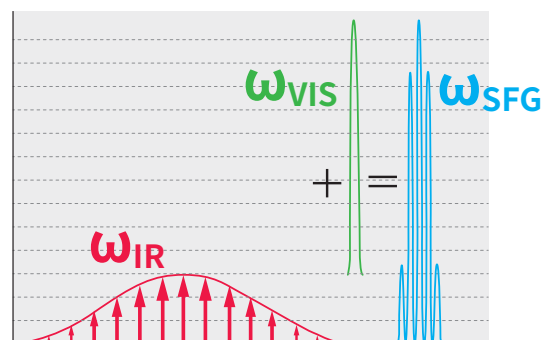
[*] A. Magomedov, A. Al-Ashouri, E. Kasparavičius, S. Strazdaite, G. Niaura, M. Jošt, T. Malinauskas, S. Albrecht, V. Getautis: Self-Assembled Hole Transporting Monolayers for Highly Efficient Perovskite Solar Cells. Advanced Energy Materials. (2018) 1801892



SFG測定オプション

フェムト秒ブロードバンドSFG

広帯域の中赤外 (mid-IR) パルスと狭帯域の可視光 (VIS) パルスを組み合わせることで、広帯域の和周波発生 (SFG) スペクトルを取得可能です。スペクトルはモノクロメーターおよび高感度 CCD カメラによって、一括で取得可能です。またフェムト秒パルスの高いピーク強度により、低パルスエネルギーでも効率的に和周波発生が、試料へダメージを最小限に抑えることができます。



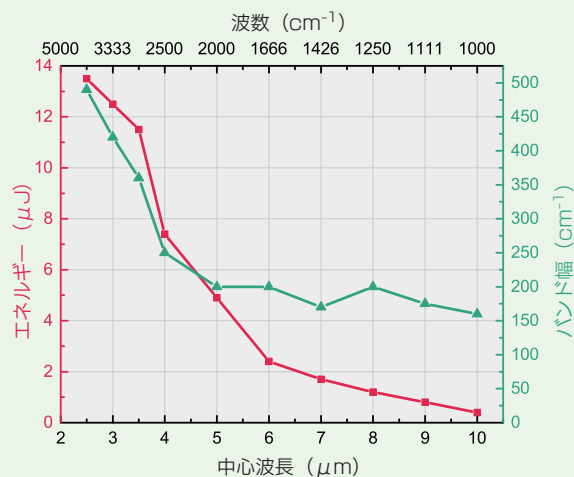
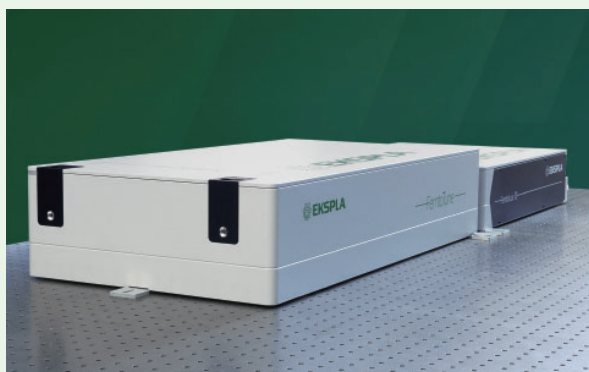
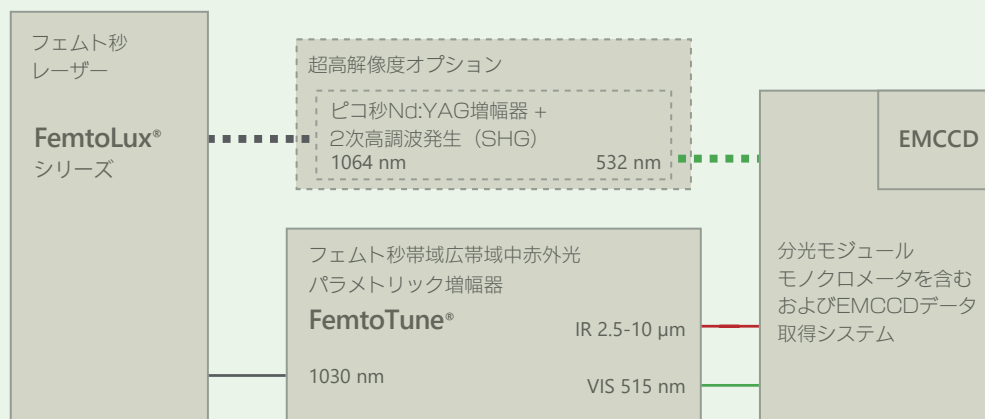
フェムト秒SFGレーザー構成

● FemtoLux

- ・ 信頼性の高い産業用レーザー
- ・ 完全空冷のメンテナンスフリー設計
- ・ 532nm ピコ秒レーザーと同期し、3 cm⁻¹ という高分解能を実現 (高分解能オプション)

● FemtoTune

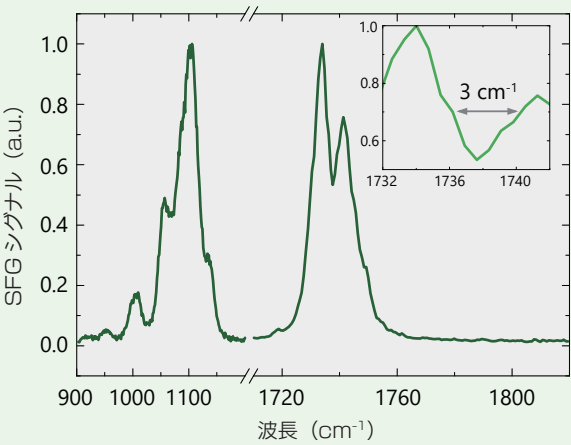
- ・ 時間同期型のモーター制御により、数秒以内で全波長範囲のスキャンが可能
- ・ 中心波長を連続的にシフトさせることで、より平滑で正確に正規化された SFG スペクトルを取得



SFG測定オプション | フェムト秒ブロードバンドSFG 測定例

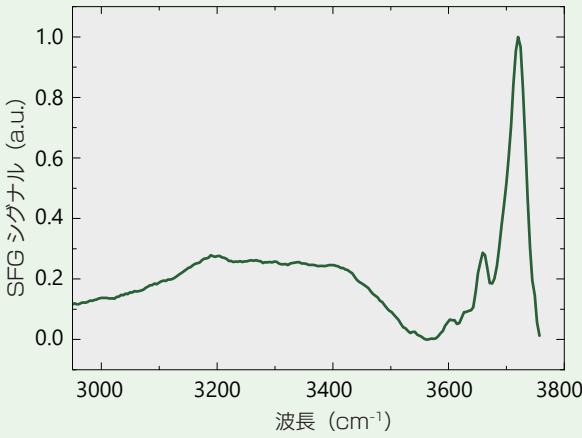
測定例 1：モノオレイン

スペクトル分解能 3 cm^{-1} を達成



測定例 2：純水

スペクトル取得時間：10 分



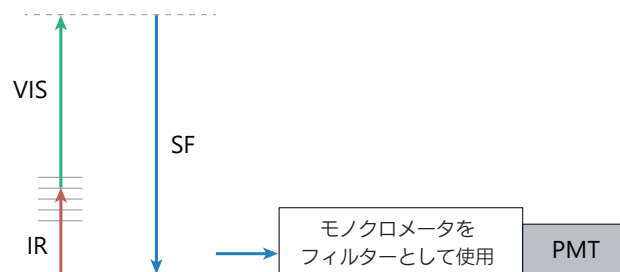
フェムト秒ブロードバンドSFG仕様表

モデル	フェムト秒 SFG	高分解能フェムト秒 SFG
波長範囲	1000 ~ 4300 cm^{-1}	1000 ~ 4300 cm^{-1}
波長分解能	< 9 cm^{-1}	< 3 cm^{-1}
スペクトルバンド幅	150 ~ 450 cm^{-1}	
スペクトル取得方式	ブロードバンド積算測定	
ビーム照射方向	可視光 / 赤外光：上側斜め方向、SFG 光：反射	
ニーム入射ジオメトリ	ノンコリニア	
入射ビーム角度	固定、可視光：約 60°、赤外光：約 55°	
可視光波長	515 nm	532 nm
偏光 (VIS, IR, SFG)	直線 (縦偏光 / 横偏光), ソフトウェアにて切替	
赤外光スポットサイズ (サンプルにて)	可変 (200 ~ 600 μm)	
感度	空気 - 水界面測定可	
システム寸法		
典型値	2000 × 1500 mm	2200 × 1500 mm

ピコ秒SFGとフェムト秒SFGの比較

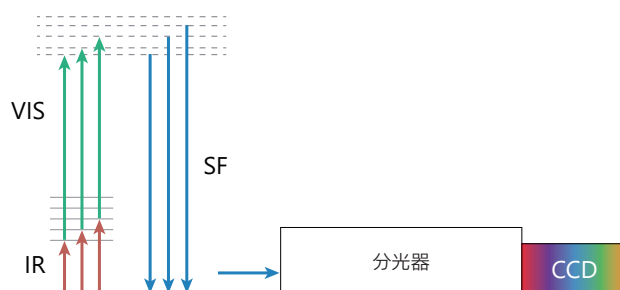
● ピコ秒スキャンニング SFG

- ・スペクトル取得のために中赤外光の波長を掃引
- ・中赤外光の強度に基づいてスペクトルの規格化が可能

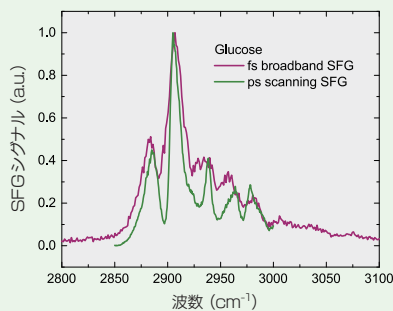


● フェムト秒ブロードバンド SFG

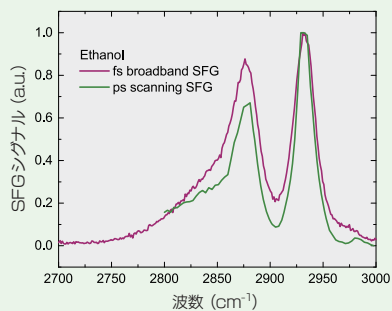
広帯域の中赤外パルス光と狭帯域の可視パルス光を組み合わせることで、一度に広範囲にわたる SFG スペクトルが取得可能。



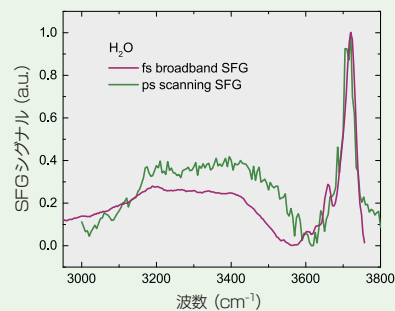
比較例



グルコース



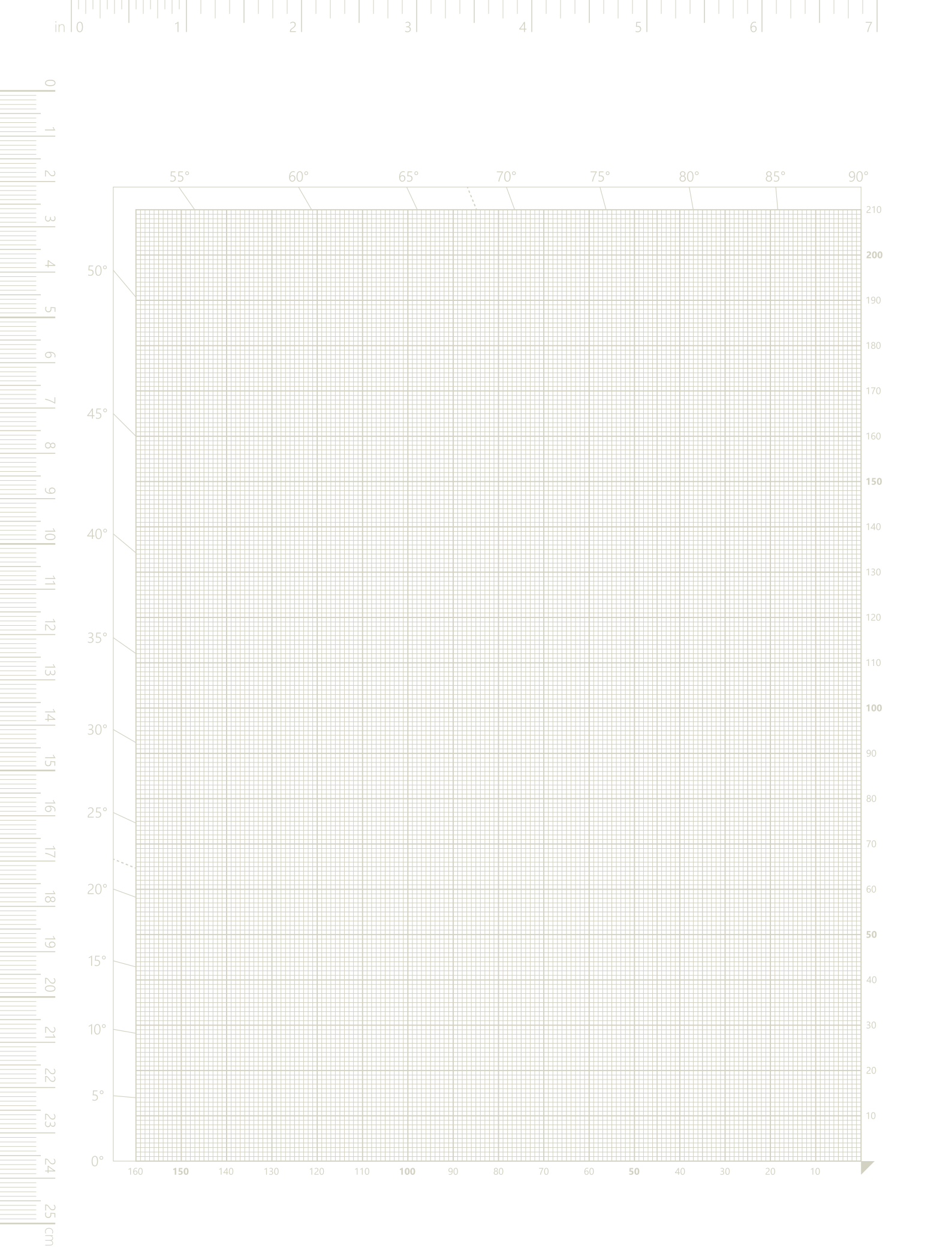
エタノール

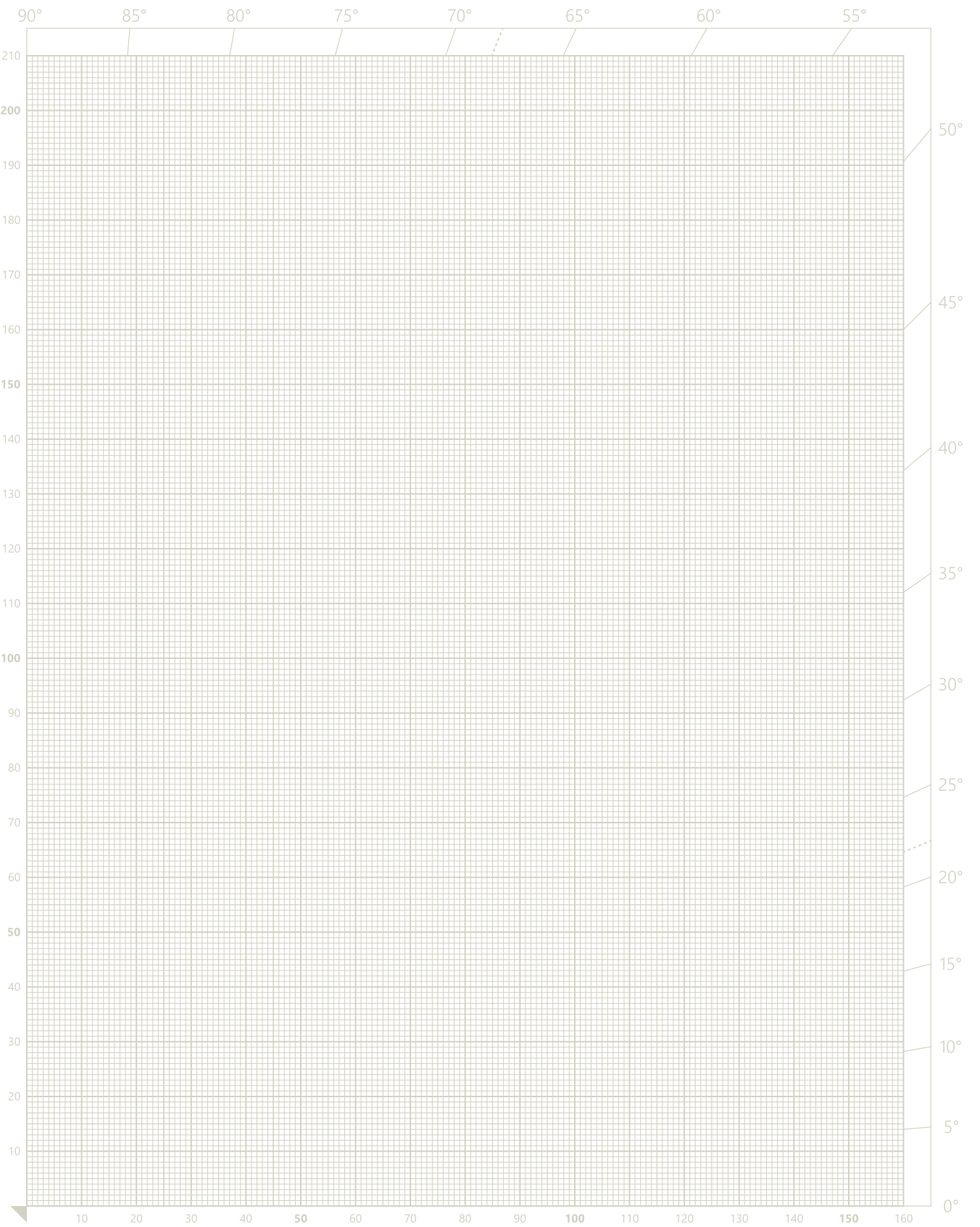


水

ピコ秒スキャンニングSFGとフェムト秒ブロードバンドSFGの比較表

ピコ秒スキャンニング SFG	フェムト秒ブロードバンド SFG
ナローバンド中赤外励起。 1つのバンドのみが励起され、結合状態を分離可能。	広帯域振動スペクトルを同時に励起・記録。高分解能。
高い中赤外パルスエネルギー。 空気中のIR吸収の影響が少ない。	低パルスエネルギーでも高い中赤外強度。 生体試料や水を含む試料に適する。
参照スペクトルは不要。 各スペクトル点でIRエネルギーを測定。	赤外と可視チャンネルが光学的に結合。 システムの構成が簡素化され、安定性が向上。





東京インスツルメンツ TOKYO INSTRUMENTS

本社：〒134-0088 東京都江戸川区西葛西6-18-14 T.I.ビル Tel. 03-3686-4711

大阪営業所：〒532-0003 大阪府大阪市淀川区宮原4-1-46 新大阪北ビル Tel. 06-6393-7411

URL : <https://www.tokyoinst.co.jp> Mail : sales@tokyoinst.co.jp

 Group Company



超高真空・極低温走査型プローブ顕微鏡
高速分光測定装置、クライオスタット



Nd:YAGレーザー、Ti:Sレーザー
OPOレーザー

- 本カタログに記載されている内容は、改良のため予告無く変更する場合があります。
(製品の仕様、性能、価格などはカタログ発行当時のものです)
- 本カタログに記載されている内容の一部または全部を無断で転載することは禁止されております。
- 本カタログに記載されているメーカー名、製品名などは各社の商標または登録商標です。

No.C-TISFG01-4501A.20250826

New

総合カタログ2024-2026を発刊！

「総合カタログ 2024-2026(予算申請価格帯付き)」を発刊いたします。グローバルにネットワークを広げ、最先端の科学をお客様に提供する当社ならではの製品はもちろん、分光・分析装置・レーザー・計測器・バイオ関連など最新情報を多数掲載しています。是非お問い合わせください。

* 価格帯は、WEBカタログには
付属しません。配送分のみの
取扱いになります。



T O K Y O 2 3
FOOTBALL CLUB

東京インスツルメンツは、東京23FCを応援しています。