

特殊な結晶氷の構造と生成メカニズムの解明

京都大学 大学院理学研究科 教授

松本 吉泰

(お問い合わせ先) E-MAIL: matsumoto@kuchem.kyoto-u.ac.jp



研究の背景

結晶氷は多数の水分子が水素結合で凝集し、水分子の重心（酸素原子）位置が規則的に並んだ固体物質です。しかし、私たちの身の回りには結晶氷ではなく、水分子の向き自体はでたらめで揃っていません。もちろん、向きも一方向に揃った秩序をもつ結晶氷のほうが熱力学的には安定ですが、結晶氷中の水分子の向きを秩序化させる長年の研究の結果、72 K以上の温度領域では向きが揃った氷は存在できないと考えられてきました。

一方、白金を基板として氷薄膜結晶を成長させると、白金と結晶氷薄膜の界面においては白金原子と氷の水分子の相互作用によって特殊な水素結合ネットワークが形成されることが報告されてきました。そして、特殊なネットワーク中にある水分子が白金基板に対してどのように配向しているのか、また、その構造が結晶氷薄膜内部の水分子の配向構造にどのような影響を与えるのかについてはこれまで諸説が提案されてきました。しかし、結晶氷薄膜中の水分子の向きを高感度に直接観測する実験手法がなかったため、これは長年にわたる未解明の問題でした。

研究の成果

本研究グループは、二次的非線形光学効果である和周波発生法にヘテロダイナミクス検出という特殊な方法を組み合わせた分光手法を用いて、単結晶の白金基板表面上に結晶成長させた氷薄膜中の水分子の配向構造を調べました。その結果、白金基板直上の水分子が、水素原子を白金原子に向けて配列していることを実証することに成功しました。また、その上に結晶成長させた水分子の配向も同様の配向秩序をもっていることを解明しました(図1)。さらに、この結晶氷薄膜中の水分子の配向秩序は175 Kまで保持され、通常の結晶氷よりも2倍以上の高温においても強誘電状態が熱力学的な安定状態として実現することが分かりました(図2)。

今後の展望

本研究の成果により、175K以下の温度環境下にある地球の極域上空や宇宙の広大な領域において、塵などの異種物質を核として凝集した氷が分子配向を揃えた強誘電状態にあることが期待されます。今後は、大気化学や宇宙物質科学の研究者と連携し、大気や宇宙の様々な環境に存在する塵の上に氷を成長させる実験を展開することで、具体的にどのような場所に強誘電氷が存在しているのか、そしてその氷の存在が周囲の物理・化学環境にどのような影響を及ぼしているのかを突き止めることを

目指しています。また、本研究の成果は、氷以外の他の物質にも応用することができ、応用物理学、物質科学の観点に立つと、低コスト・低環境負荷・高機能を備えた新しいデバイス材料開発のブレークスルーにつながるものと期待しています。

関連する科研費

2013-2015年度 基盤研究 (A) 「高感度振動分光による界面反応機構の解明」

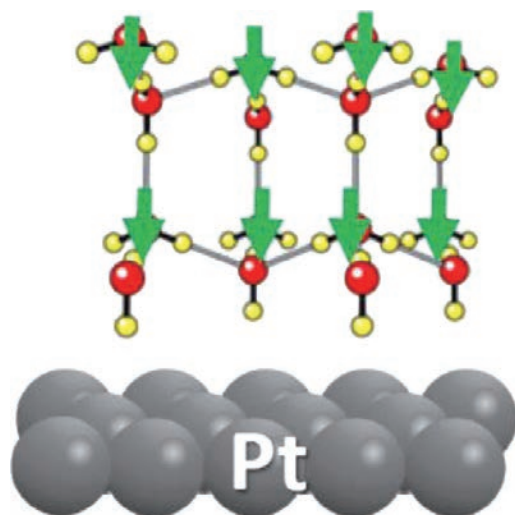


図1 白金表面に結晶成長させた強誘電結晶氷薄膜の模式図。白金の原子との相互作用により、水分子は水素原子を白金原子に向けて配列している。その上の水分子の配向も同様の配向秩序をもっている。

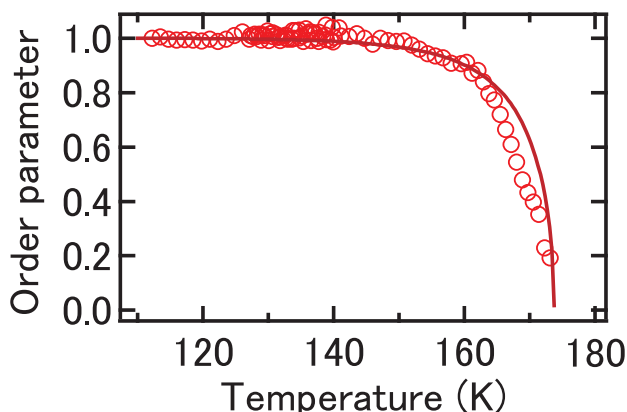


図2 白金上の結晶氷薄膜の配向秩序が昇温に伴って乱れていく様子を示すデータ。丸は実験結果、実線は統計物理学の理論を用いたシミュレーション結果を示している。175Kの温度で配向秩序が消失していることが分かる。