HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	Covalent and Semicovalent Non-Metal Plasmonic Materials for Interfacial Photo-Energy Conversion [an abstract of dissertation and a summary of dissertation review]
Author(s)	Handegård, Ørjan Sele
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(理学)
Dissertation Number	甲第14291号
Issue Date	2020-12-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/80283
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/
Type	doctoral thesis
File Information	Orjan_Sele_Handegard_abstract.pdf, 論文内容の要旨

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

学 位 論 文 内 容 の 要 旨

博士の専攻分野の名称　博士（理　学）　　氏　名　ハンデガード　オルヤン　セレ
(HANDEGÅRD Ørjan Sele)

学 位 論 文 題 名

Covalent and Semicovalent Non-Metal Plasmonic Materials for Interfacial Photo-Energy Conversion
（赤外エネルギー変換を志向した共有結合性・半共有結合性非金属プラズモン材料の研究）

Au, Ag, Cu, Al などの貨幣金属を用い、その高い光吸収能、光散乱効果や波長選択性を利用した機能材料やエネルギー変換材料のナノ材料科学研究が近年発展し注目されている。これらの研究は母材料そのものの性質による機能発現を志向するというよりは、むしろ、ナノスケールの電磁境界条件の設定やナノ構造制御や製作を通した機能設計に関するものが多い。そこで、本研究ではこれまで既に多くの研究がなされてきた貨幣金属や単元素金属の枠を超えて、共有結合性物質や半金属をベースとした非金属材料の中から、高い光閉じ込め効果やエネルギー変換効果を示し得る薄膜材料やプラズモン材料の研究を行った。プラズモン共鳴現象はナノスケール構造に大きく左右されるが、材料そのものの純粋な光学物性を調べる上では逆に深刻な阻害要因となってしまう。このため、本研究では「ナノ構造由来」と「材料物性由来」とによる性質を明確に分けて理解するために、できるだけ高い結晶性と平坦性を持つ薄膜を実現することに、まず注力し、正確な光物性評価を行った。その上で、サイズに起因する閉じ込めやフォトニック効果を議論した。

イオン性や共有結合性を示す高融点・高硬度材料としては窒化チタンなどの金属窒化物やドープした酸化物が挙げられるが、薄膜として高い結晶性・平坦性を担保することが難しく赤外帯域の物性評価が難しい。ここでは高い電子密度や1000℃を超えても高い構造安定性と低い光学損失を持ちうる材料として六ホウ化ランタンを予想し、近赤外帯域のプラズモン材料として使用可能かどうかを検証した。本研究では下地と成長温度を最適化することで、下地材料と完全に格子整合した成長様式（エピタクシー）を実現することができ、その低い光学損失と金属応答性（プラズモニック特性）を利用することで、予想通り90%程度の光熱変換効率を持つ狭帯域な赤外線エミッターを実証できた。つづいて、結晶構造、機械的性質、電子物性が自由電子金属と共有結合性物質の中間的な性質を示す、半金属の代表であるビスマスを例にとり、その光学的性質を紫外から可視帯域にかけて評価した。その結果、可視帯域では金属性を持つこと、そして、その性質は構造に乱れを入れることによってさらに顕著となり、ナノ構造を形成する場合には増強ラマン散乱と似たふるまいまで示すことが判った。一方、赤外帯域では非常に高い屈折率（$n > 10$）を持ち、かつ比較的低損失な誘電体としてふるまうことが判り、中赤外帯域において、ナノアンテナ構造やプラズモン共鳴の助けを借りずとも高い光吸収効果・光熱変換効果を示す材料であることを初めて見出した。さらに、Bi の高配向エピタクシャル薄膜をシリコン表面に形成することで、位置敏感検出器としての光応答も示すことを見出し、この系の高い光学損失とバンド間遷移、シリコン - 金属のオーミック界面での電荷移動の複合効果により、高い応答性を示すことを明らかにした。以上の様に、本研究によって、供給結合性と半金属性を持つ薄膜材料の赤外光応答性を明らかにし、そのエネルギー変換機構についての新たな知見を得ることができた。