

Summary of Doctoral Thesis

Title of Doctoral Thesis: Design and fabrication of photonic multilayer platforms for the study of Bloch surface wave-exciton-polaritons

(ブロッホ表面波ポラリトン状態を保持する多層膜フォトニック構造の設計と製作)

Name: Christian Mananquil Laurio

Summary of Doctoral Thesis:

Bloch surface waves (BSW) are electromagnetic modes which are localized on the surface of a photonic crystal (PC) structure. Due to its evanescent nature, the field intensity of this mode is localized at the interface of air and the dielectric layer. If an additional thin organic layer is deposited on the top surface of the PC structure as the active layer, there is a chance to form strong coupling between the BSW mode and the exciton state of the organic molecule. The resulting mixed state is called BSW-polariton, which is similar to the surface plasmon polaritons (SPPs) existing at the metal/dielectric interface. The advantage of BSW-polariton is its low loss, long-range propagating nature, which will be beneficial for the applications such as BSW-based optical devices.

To realize an optimum strong coupling between BSW and the active layer, the fine tuning of the design of the PC structure is crucial. In this thesis, distributed Bragg reflectors (DBR) composed of multiple layers of Ta₂O₅/SiO₂ are designed based on the transfer matrix simulations. The dispersion and the intensity distribution of the BSW mode is highly affected by the condition of the “truncation layers” which is the topmost Ta₂O₅/SiO₂ layers. It is shown that the anti-crossing structure of the exciton and BSW modes is automatically implemented when the complex refractive index of the active layer is taken into account. From the TMM analysis, it is found that the integrated electric field intensity (α) within the active layer gives a good estimate for the Rabi splitting parameter. On the other hand, the simulated angle-dependent reflectance spectra reveal the trade-off relation between the highly-localized BSW structure and the leakage radiation which is necessary for the far-field detection. As a result, a compromise of these two parameters is necessary. The present results offer important insights to connect between the experiments and simulations of BSW-exciton-polariton structures, which will be beneficial as a guideline for the fabrication of BSW-polariton based devices.

Name	Christian Mananquil Laurio
------	----------------------------

Summary of Thesis Examination Results:

Title: Design and fabrication of photonic multilayer platforms
for the study of Bloch surface wave-exciton-polaritons

(ブロッホ表面波ポラリトン状態を保持する多層膜フォトニック構造の設計と製作)

ブロッホ表面波(BSW)はフォトニック結晶構造(PC)の表面に局在した電磁波モードである。PC表面に有機半導体薄膜層を付加した場合、BSWの電場と、有機半導体の励起子の強結合によって新たな準粒子が生じる。この状態はブロッホ表面波ポラリトン(BSWEP)と呼ばれ、金属と誘電体の境界に局在する表面プラズモンポラリトン(SPP)と類似した性質を持つ。BSWEPはSPPと比較して損失が非常に小さく、これまでに100 μm 以上の距離を導波するBSWEPが観測されている。このような特性から、BSWEPはバイオセンサー、新規光デバイス、オプトエレクトロニクス分野で大きな関心を集めている。

本論文では一次元PC上に保持されたBSWEPについて、そのラビ分裂パラメータおよび反射スペクトル強度とPC構造パラメータの関連性についてシミュレーションを行った。 $\text{Ta}_2\text{O}_5/\text{SiO}_2$ の周期構造からなる分布ブラッグ反射ミラーと、その表面に塗布されたシアニン色素による有機半導体薄膜層を仮定し、転送マトリックス法に基づきBSWモードの分散曲線と強結合によって生じるBSWEPの分散曲線を計算した。この結果により、有機半導体薄膜層に分布する電場の積分強度パラメータ(α)がラビ分裂パラメータと正の相関関係を示すことが示された。一方、PC構造の反射スペクトル強度は有機半導体薄膜層の厚さ、DBRの層数などに関連があり、BSWEPモードの閉じ込め効率が高すぎる場合、外部から光を入射して測定する反射スペクトルの強度が小さくなり、測定が困難になることが示された。この結果、ラビ分裂の大きさと反射スペクトルの観測の容易さを両立させるためには、最適な有機半導体薄膜層の厚さが存在することが理論的に示された。

この結果は、今後のBSWEPを利用したデバイスの設計において重要な知見を提供するものであり、審査員一同は、本論文が博士(理学)の学位論文として価値があるものと認めた。