

Fotoniske krystaller

Fotoniske krystaller er periodiske (dielektriske) strukturer med en periodicitet af samme størrelsesorden som lysets bølgelængde og kaldes ofte for halvledere for lys. Tankegangen bag fotoniske krystaller (eller fotoniske båndgabsstrukturer) er stærkt inspireret af elektroniske krystaller (halvledere) og kan opfattes som den optiske analog til halvledere, hvor den periodiske struktur af atomer gør at frie elektroner med visse energier ikke kan propagere i halvlederen. I fotoniske krystaller er det tilsvarende muligt at opnå at lys med visse bølgelængder ikke kan propagere i den fotoniske krystal.

Vi vil starte i den mere simple ende af skalaen med en-dimensionale periodiske strukturer med skiftevis højt og lavt brydningsindeks der bl.a. benyttes som dielektriske spejle i en Helium-Neon-laser. Når lyset ikke kan trænge ind i krystallen virker den som et effektivt spejl, og da spejlet er baseret på dielektriske materialer undgås desuden de tab der ville være i et metallisk spejl, hvilket er meget vigtigt for en laser.

Det vil være muligt i projektet at måle refleksion og transmission for forskellige lagstrukturer (men ikke at fremstille dem), og at lave tilsvarende teoretiske beregninger af refleksion og transmission vha. en transfermatrix metode, og at lave båndstrukturberegninger ved at selv konstruere et program i matlab eller vha. et kommercielt finite-element program (COMSOL multiphysics). Herefter kan vi fortsætte med at studere mere avancerede geometrier der er periodiske i to dimensioner.

Både for halvledere og fotoniske krystaller gælder det at i tilfælde af symmetribrud i form af punkt-, linie- og flade-defekter kan opnås at hhv. elektroner eller lys kan fanges i et punkt-, linie- eller fladeformet område. Dette kan benyttes til f.eks. at lave bølgeledere eller laserkaviteter for lys der virker via interferenseffekter istedet for alm. total indre refleksion. Nedenfor i figur 1(a) er vist et eksempel på en bølgeleder i en to-dimensional fotonisk krystal, det tilsvarende båndstrukturdiagram [Fig. 1(b)], og eksempler på magnetfeltet (orienteret langs z-aksen) for de fire bølgetyper i båndgabet [Fig. 1(c)].

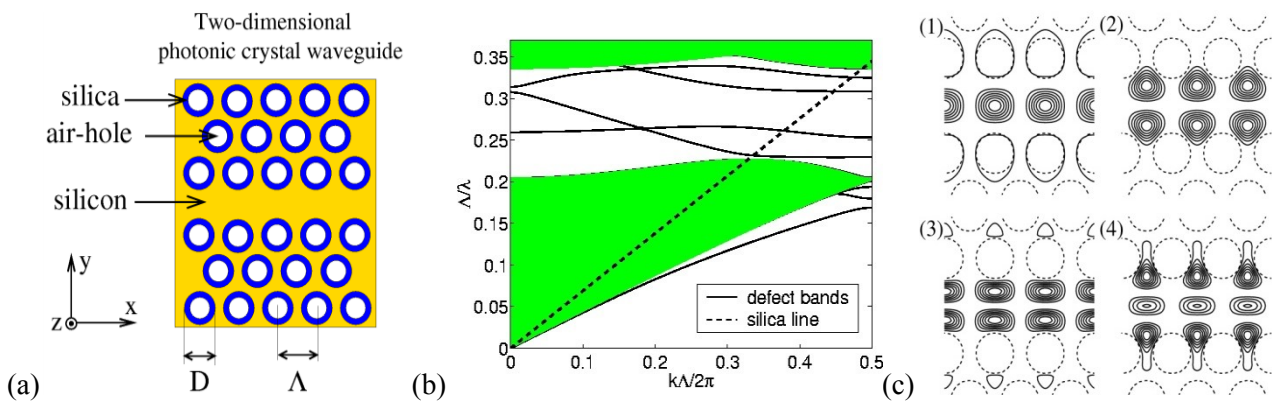


Fig. 1: (a) Eksempel på bølgeleder i fotonisk krystal. (b) Tilhørende bånddiagram. (c) Magnetisk intensitet for fire af bølgelederens bølgetyper.

De diskrete bånd i Fig. 1(b) skyldes udelukkende liniedefekten i Fig. 1(a) og kan bruges til at udlede hvilke frekvenser bølgelederen understøtter, bølgelederens dispersionsegenskaber, og f.eks. hvor hurtigt lyset bevæger sig igennem bølgelederen. Jo fladere bånd jo langsommere bevæger lyset sig. Teoretiske beregninger som disse kan f.eks. laves i matlab vha. en planbølgemetode men også med COMSOL multiphysics.

Det er også muligt at regne på spredning af lys der rammer en fotonisk krystal (med f.eks. en integralligningsmetode i matlab eller COMSOL multiphysics). Nedenfor i Fig. (2) er vist et eksempel hvor lys er indfaldende på en fotonisk krystal, hvor lysets bølgelængde er hhv. i båndgabet [Fig. 2(a)] og udenfor båndgabet [Fig. 2(b)]. Det ses tydeligt at for den ene bølgelængde kan lyset ikke trænge ind i krystallen mens det godt kan for den anden, om end de resulterende felter er komplicerede.

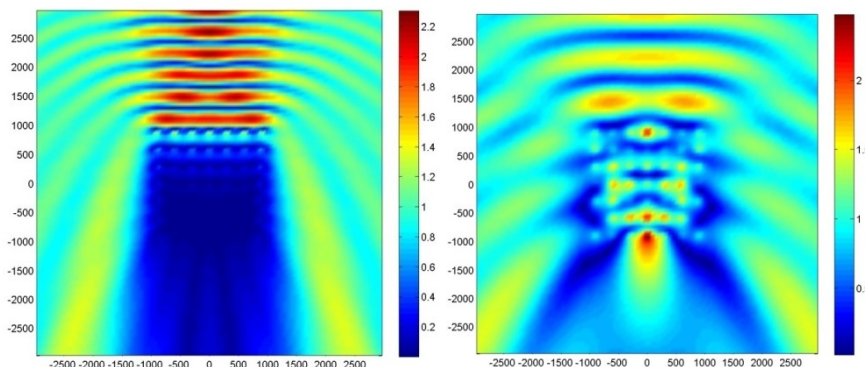


Fig. 2: Eksempel med en plan bølge indfaldende på en periodisk dielektrisk struktur med (a) bølgelængden i båndgabet. (b) bølgelængden udenfor båndgabet

Projektets forløb kan se ud som følger:

Vi vil starte med at få et overblik over området fotoniske krystaller ved i fællesskab at gennemgå udvalgte dele af bogen [1]. Derved får vi også styr på de grundlæggende formler og metoder til at beskrive opførslen af lys i denne type strukturer.

Herefter skal udvikles programmer (gerne i matlab) og/eller en model i COMSOL multiphysics til at studere de optiske egenskaber af periodiske strukturer. Det kan anbefales at i laver nogle beregninger vha. matlab da i lærer mest af at selv lave et program – så får i fingrene i matematikken, og det er vigtigt at i undervejs i studiet lærer noget grundlæggende programmering, hvilket i har muligheden for her.

Der kan måles refleksions- og transmissionsspektre for lys indfaldende under forskellige vinkler på en-dimensionale lagstrukturer, og der kan sammenlignes med tilsvarende teoretiske beregninger.

Herefter er det muligt at studere de mere avancerede to-dimensionale periodiske strukturer med og uden defekter.

Projektet vil især støtte op omkring kurset ”Faststoffysik II” hvori der indgår båndstrukturberegninger for halvledere. Her vil i få direkte erfaring med at lave båndstrukturberegninger og få en god forståelse for betydningen af symmetribrud osv.

[1] J.D. Joannopoulos, S.G. Johnson, J.N. Winn, R.D. Meade, "Photonic crystals - Molding the flow of light", second edition, Princeton university press 2008

Vejleder: Thomas Søndergaard