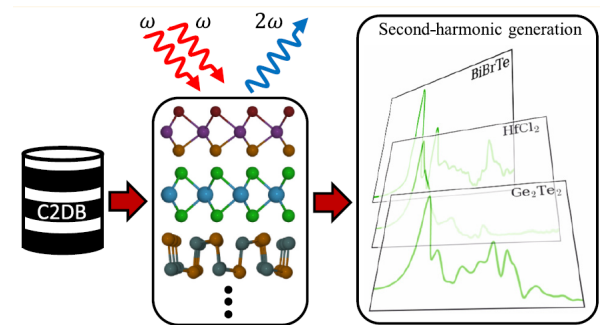


Et bibliotek af 2D-materialer til ulineær optik

Hvis en lyskilde er tilstrækkelig intens, er den optiske respons af materialer under belysning ulineær. Dette fører til et væld af interessante fænomener. Især kan farven på det transmitterede lys være forskellig fra det indsendte. Et eksempel på dette er anden-harmoniske generation, hvor den optiske frekvens fordobles. Derudover kan en oscillerende lysstråle frembringe en DC-strøm via ulineære vekselvirkninger. Bortset fra den spændende grundlæggende fysik i disse processer, er flere anvendelser i optisk kommunikation og signalbehandling afhængige af ulineær optik. I en nylig artikel, har medlemmer af CNG undersøgt 375 2D-materialer med henblik på at identificere lovende kandidater med store ulineariteter. Vi har brugt state-of-the-art teoretiske værktøjer til at forudsige ulineariteten af materialer valgt fra C2DB databasen. På denne måde har vi fundet flere meget lovende strukturer. Desuden har vi identificeret nogle interessante generelle tendenser. For det første finder vi, at materialets båndgab er en afgørende indikator for responsen. For det andet synes visse atomer såsom krom at øge ulineariteten. Endelig har vi vist, at vores mest lovende kandidater er tæt på den teoretiske øvre grænse, der følger fra grundlæggende kvantemekaniske regler. Hvis disse resultater verificeres eksperimentelt, kan de bane vejen for betydelige fremskridt inden for ulineære optiske komponenter baseret på 2D-materialer.



For det første finder vi, at materialets båndgab er en afgørende indikator for responsen. For det andet synes visse atomer såsom krom at øge ulineariteten. Endelig har vi vist, at vores mest lovende kandidater er tæt på den teoretiske øvre grænse, der følger fra grundlæggende kvantemekaniske regler. Hvis disse resultater verificeres eksperimentelt, kan de bane vejen for betydelige fremskridt inden for ulineære optiske komponenter baseret på 2D-materialer.

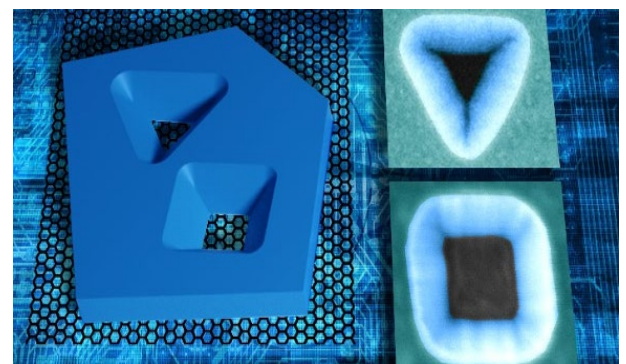
A. Taghizadeh, K. S. Thygesen and T. G. Pedersen, "Two-dimensional materials with giant optical nonlinearities near the theoretical upper limit", ACS Nano 15, 7155 (2021).

2D materialer skåret skarpere end nogensinde før med anisotropisk ætsning

Præcis nanomønstring af 2D materialer er en lovende fremgangsmetode til at funktionalisere 2D materialer, som kan udnyttes til fremtidens elektronik og nanofotonik. Dette er også et stort fokusområde for CNG.

Hvis vi skal udnytte kvanteegenskaber som for eksempel spin til nye elektroniske komponenter, bliver vi nødt til at kunne lave mønstre i 2D materialer med en opløsning under 10 nm, og helst tæt på atomar opløsning.

På CNG har vi arbejdet intenst på at nedskalere nanostrukturer i 2D lag baseret på elektronstråle litografi og reaktiv ion ætsning. I 2021 har vi vist at anisotropisk reaktiv ion ætsning kan bruges til at lave strukturer i 2D materialer der er under 10 nm store. Vi brugte svovl hexafluorid (SF_6) plasma til at ætse multilags hexagonal bornitrid (hBN) samt fire forskellige multilags overgangsmetal dichalcogenider (TMD'er). TMD'erne udviste varierende grad af anisotropisk ætsning, hvor cirkulære huller blev ætset til sekskanter med skarpe hjørner og lav kantruhed. Transmission elektronmikroskopi afslørede at ætseraten er størst ved armchair kanter og mindst ved zigzag kanter. Dette betyder at ætsede huller har zigzag kanter og ætsede søjler har armchair kanter. Ætsning med SF_6 i hBN resulterede i konstante ætsevinkler uafhængigt af krystalgitterets orientering. Dette kan bruges til at nedskalere mønstre defineret elektronståle litografi og gøre hjørnerne mere skarpe. For eksempel vil et litografisk defineret trekantet hul med runde hjørner i toppen af hBN krystallen blive nedskalaret og få helt skarpe hjørner ved bunden af hBN krystallen. Ved at placere hBN ovenpå en anden 2D krystal og bruge hBN som en ekstra ætsemaske, er det således muligt at danne litografisk baserede nanostrukturer i 2D krystaller med hidtil uset præcision.



Figur 1. Venstre, illustration af hvordan hBN kan bruges som en ekstra ætsemaske til at nedskalere mønstre defineret med elektronstråle litografi og gøre hjørnerne mere spidse. Højre, Billeder taget med skanning elektronmikroskopi af huller i hBN lavet med elektronstrålelitografi og SF_6 ætsning.

M. Fischer, Dorte R. Danielsen, Anton Lyksborg-Andersen, Kirstine E. S. Nielsen, Bjarke S. Jessen, Timothy J. Booth, Manh-ha Doan, Yingqiu Zhou, Peter Bøggild: "Super-resolution Nanolithography of Two-Dimensional Materials by Anisotropic Etching", ACS Appl. Mater. Interfaces, 13, pp. 41886-41894 (2021).