

CENTRO DE INVESTIGACIONES
EN ÓPTICA, A.C.

Loma del Bosque 115,
Col. Lomas del
Campestre, León, Gto.

Tel. (477) 441 42 00

www.cio.mx

SISTEMA DE INSTITUCIONES SEP - CONACYT







DIVISIONES DE INVESTIGACIÓN

ÓPTICA

Instrumentación Óptica
Holografía y Óptica de Fourier
Óptica Médica y Forense
Colorimetría
Pruebas Ópticas No-Destructivas
Visión Computacional e Inteligencia Artificial
Instrumentación de Metrología Óptica

FOTÓNICA

Cristales Fotónicos (Nanotecnología)
Propiedades Ópticas de Superficies
Física e Ingeniería de Láseres
Espectroscopía Óptica
Materiales Ópticos Avanzados (Nanotecnología)
Fabricación de Fibras Láser
Sensores y Dispositivos de Fibra Óptica

Posgrado

Doctorado en Ciencias (Óptica)
Maestría en Ciencias (Óptica)
Maestría en Optomecatrónica



Circuitos Opticos de Cristales Fotónicos

Francisco Villa Villa



Alberto Mendoza Suárez

Centro de Investigaciones en Óptica

On leave from Facultad de Ciencias Físico-Matemáticas,

Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Edificio "B"

Ciudad Universitaria 58060, Morelia, Michoacán, México.

J. A. Gaspar-Armenta

Centro de Investigación en Física, de la

Universidad de Sonora, Hermosillo Sonora MEXICO.



Motivación

- La tecnología fotonica esta mostrando ser una solución para las necesidades presentes y futuras de la internet.
- Las fibras ópticas han reemplazado casi por completo a los conductores de cobre para cualquier línea de transmisión mayor a 100 m debido a su desempeño muy superior.
- En los extremos de estas fibras, circuitos fotonicos integrados estan siendo utilizados para convertir señales electrónicas en señales ópticas y viceversa.
- Hasta ahora estos circuitos (photonic integrated circuits PIC) constan de componentes ópticos como láseres, moduladores, detectores, atenuadores, multiplexores/demultiplexores, amplificadores ópticos y guías de onda en obleas de Fosfato de indio de manera análoga a los circuitos integrados (IC).



Figure 6: Infinera has introduced the first "WDM system on a chip" by monolithically integrating all the optical components required for a 100Gb/s DWDM system onto an InP PIC.

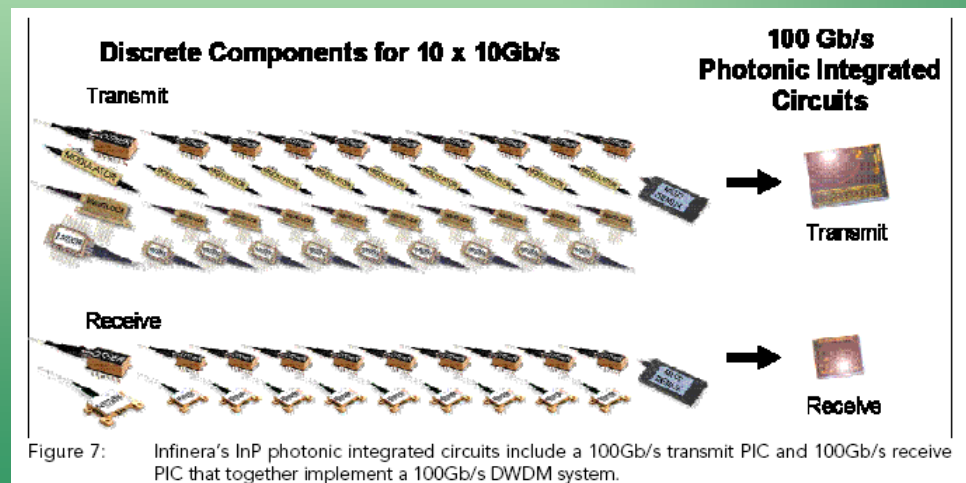


Figure 7: Infinera's InP photonic integrated circuits include a 100Gb/s transmit PIC and 100Gb/s receive PIC that together implement a 100Gb/s DWDM system.

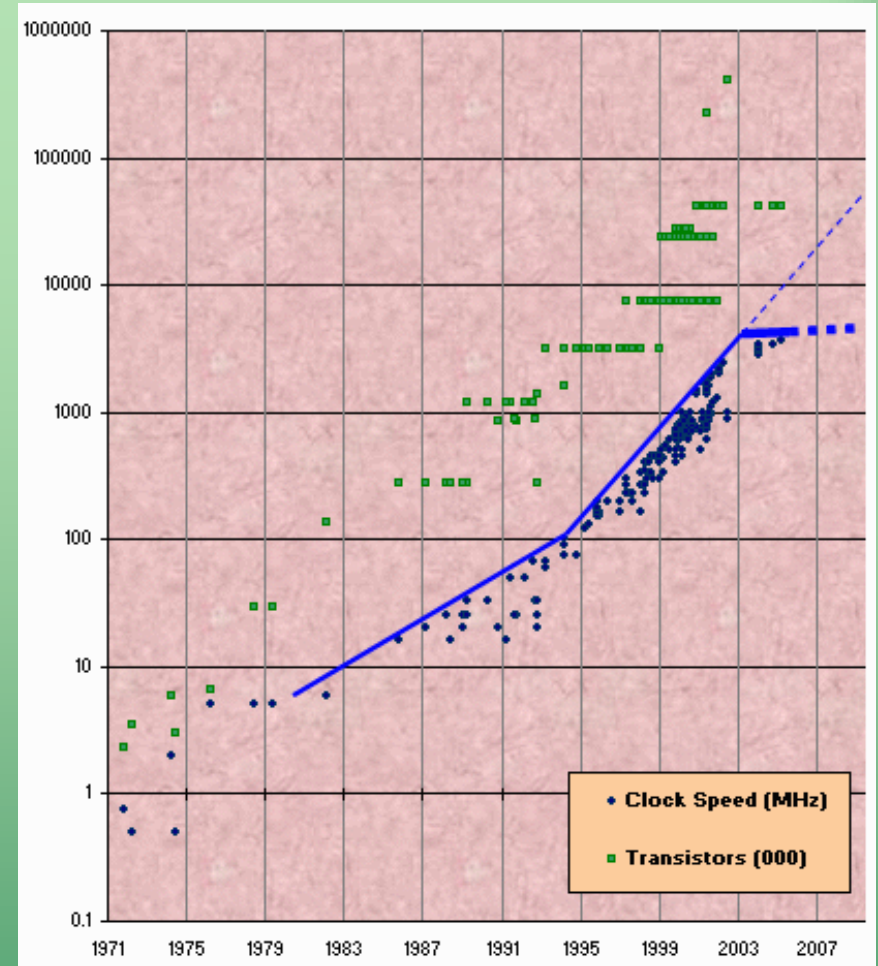
La microelectrónica y las computadoras

- Como sabemos, la esencia de las computadoras está en su procesador, que se compone del circuito integrado más complejo jamás fabricado por el hombre.
- El procesador posee millones de transistores, diodos, capacitores y resistores.
- La capacidad de una computadora o su “rapidez” reside principalmente en la frecuencia de su procesador.

Ejemplo: Un procesador de 3.0 Ghz

Realiza un ciclo en $\frac{3}{10\,000\,000}$ seg

En este tiempo el procesador se enciende y realiza una serie de calculos, luego se apaga para disipar el calor generado por las corrientes electrónicas en los materiales que componen los IC y luego viene otro ciclo y el proceso se repite indefinidamente.

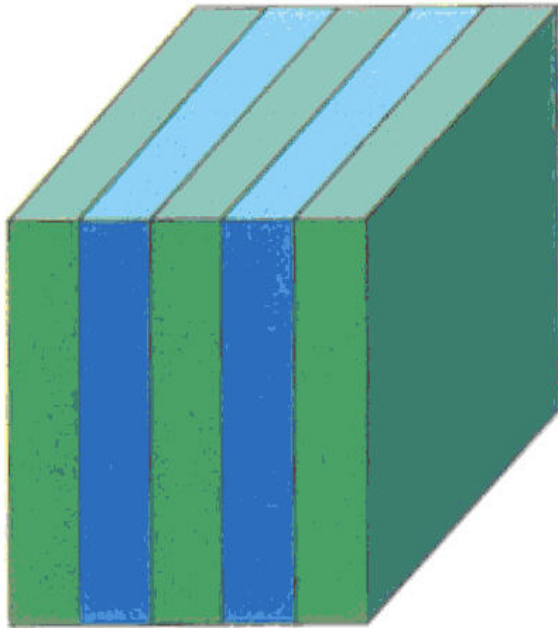


Evolución de los procesadores durante los últimos años y su correlación entre frecuencia (diamantes) y número de transistores (cuadrados). La escala para este número va multiplicada por 1000.

- A pesar de la extraordinaria rapidez de los procesadores actuales para realizar cálculos, las tareas encomendadas a los procesadores a través de los programas de software son cada vez más complejas, de manera que la demanda por procesadores más rápidos y de arquitectura más compleja va en aumento continuamente.
- En la actualidad la tecnología de los materiales del estado sólido utilizada para fabricar los circuitos integrados, esta llegando al límite físico en que ya no es posible aumentar la densidad de componentes miniaturizando los circuitos.
- Por esta razón, desde hace un par de años los fabricantes de procesadores están optando por modificar la arquitectura de diseño de los mismos para trabajar con grupos de ellos llamados clusters. Es por ello que recientemente empezaron a aparecer disponibles comercialmente los procesadores múltiples con los adjetivos duo (dos) o quad (cuatro), etc.
- En base a lo anterior, los científicos ahora están buscando desarrollar tecnologías alternativas. Una tecnología que presenta buenas expectativas y a la cual los países del primer mundo le están dedicando gran cantidad de recursos, es la de los [cristales fotónicos](#).

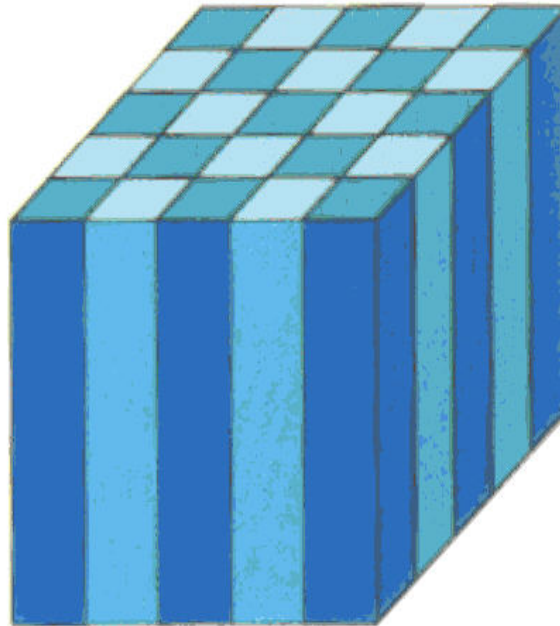
Photonic crystals

1-D



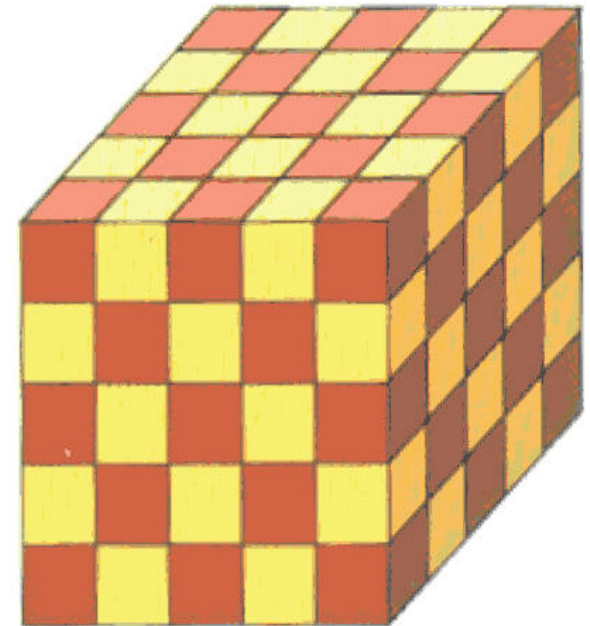
periodic in
one direction

2-D



periodic in
two directions

3-D



periodic in
three directions

Color by diffraction

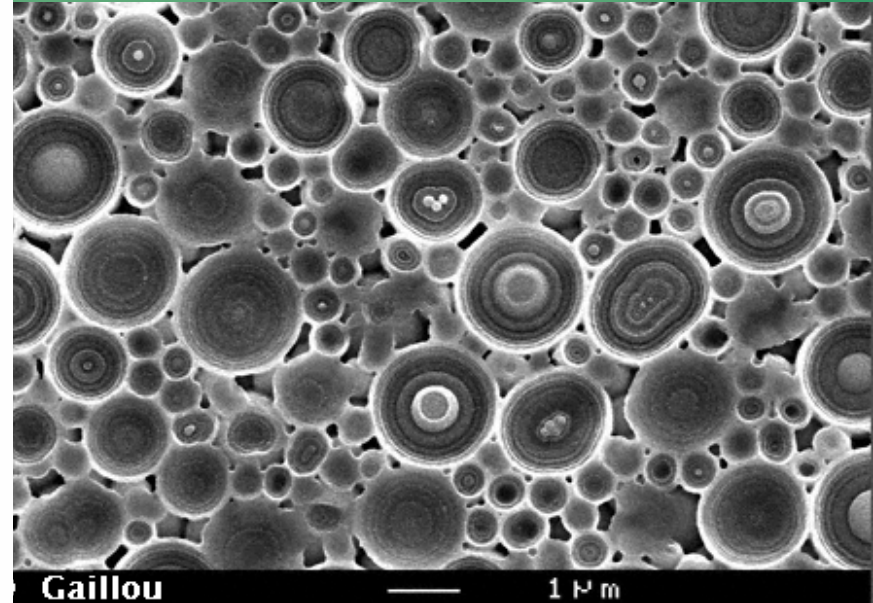
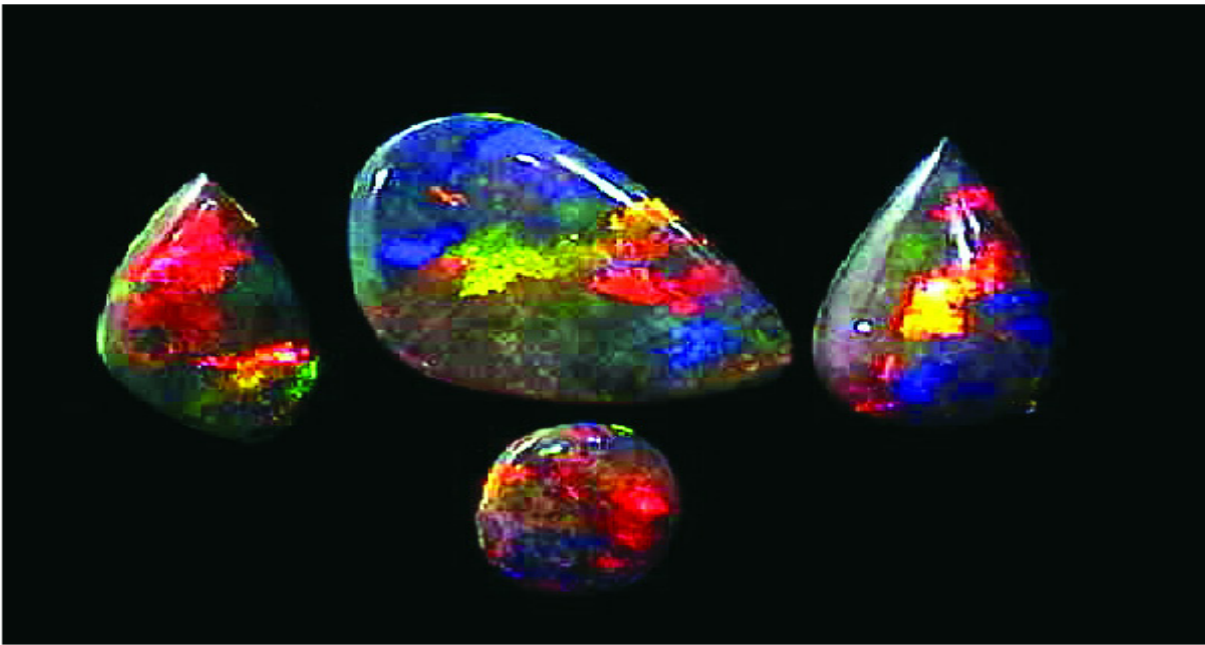


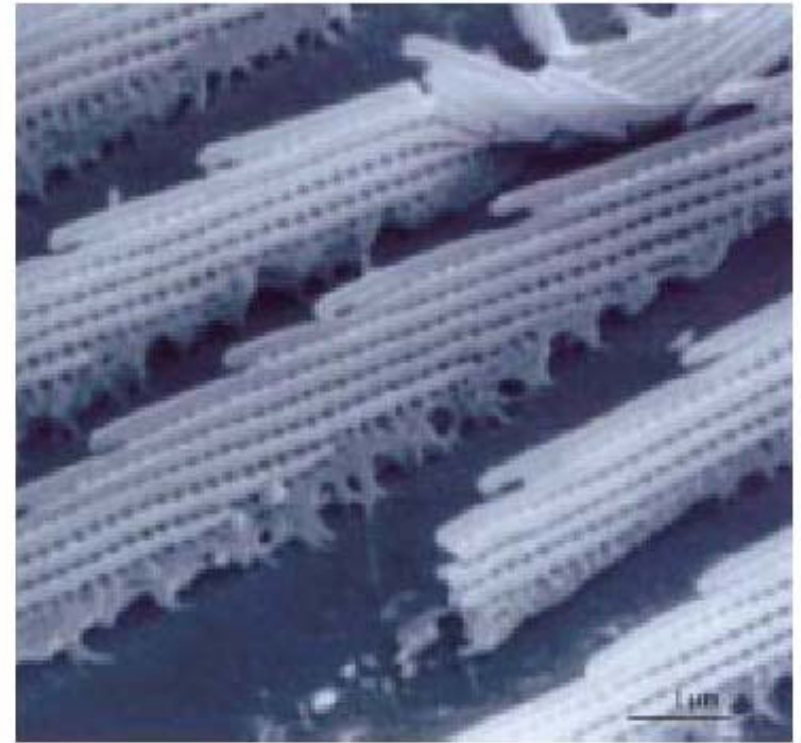
Figure 1. The opal is perhaps the best-known example of photonic band structures in nature. [From <http://www.roughcutgems.com/>]



Butterfly wings irridescence



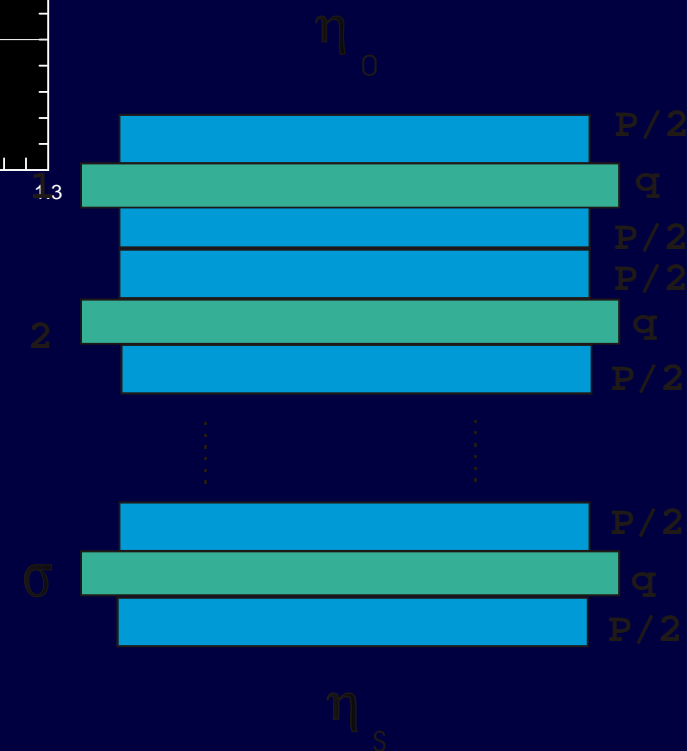
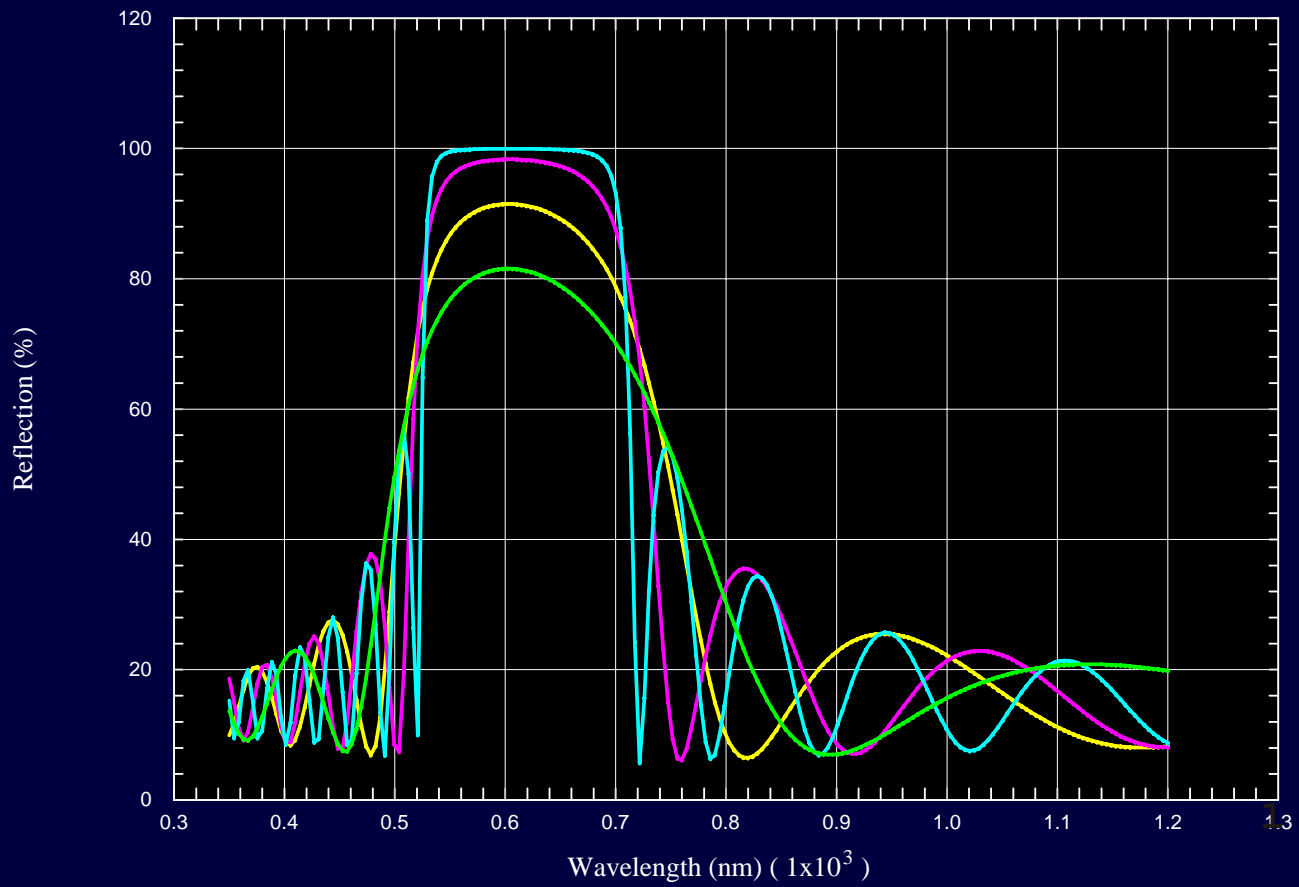
TEM photo about $0.5 \mu\text{m}$ period.

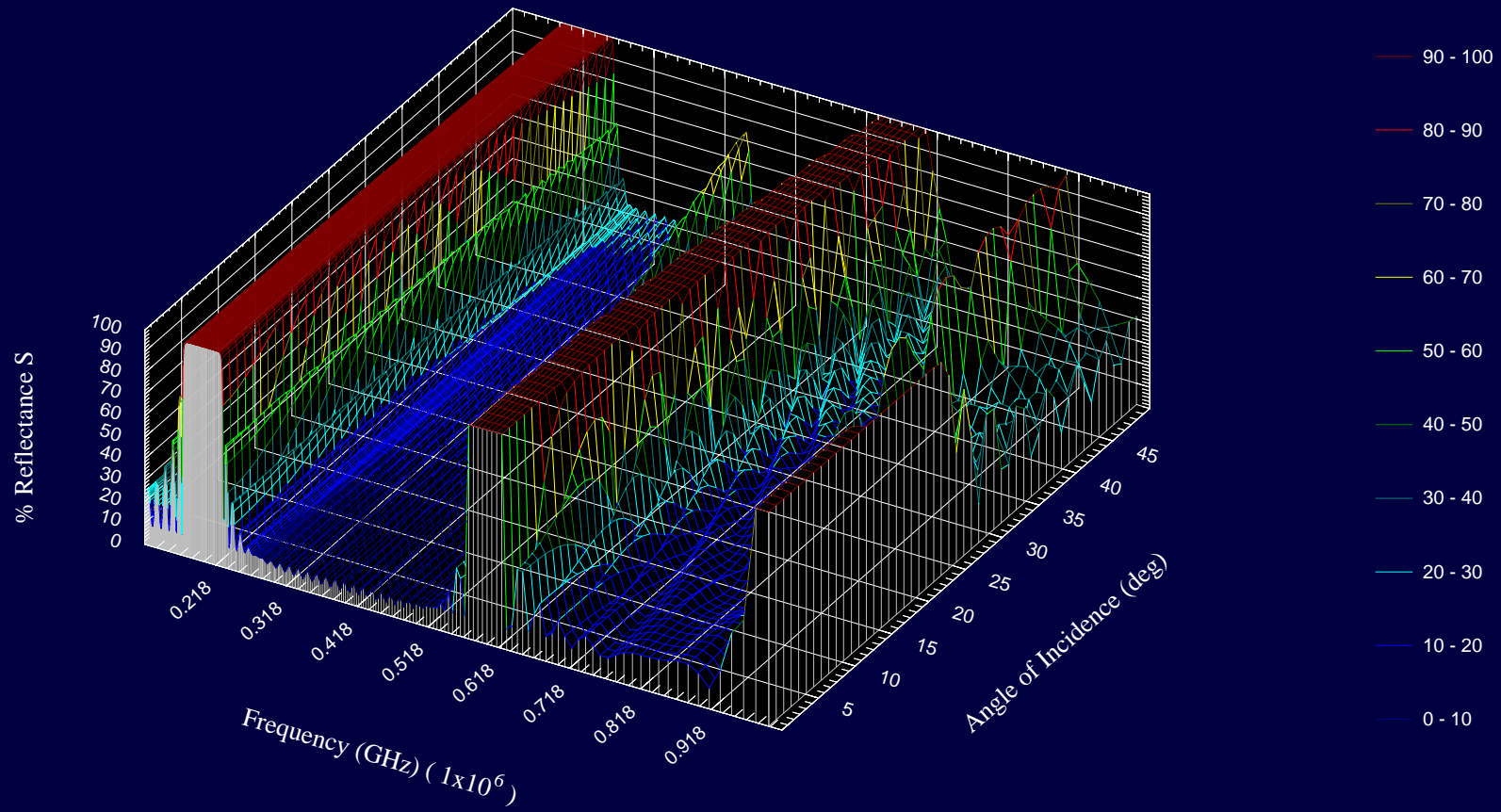


Periodicity in nature creates diffraction and filtering of the sunlight.

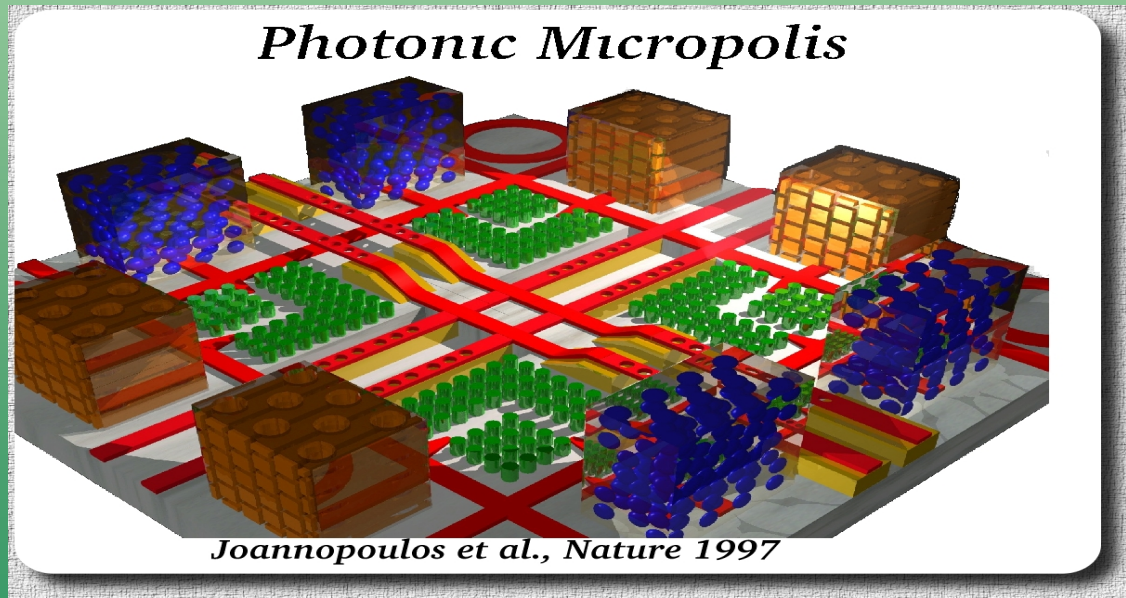
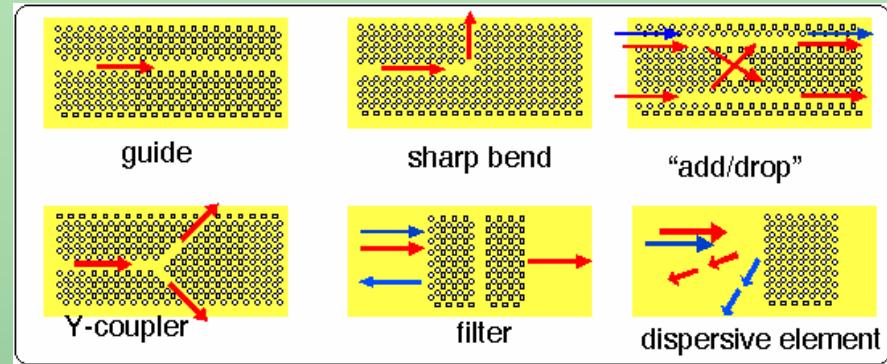
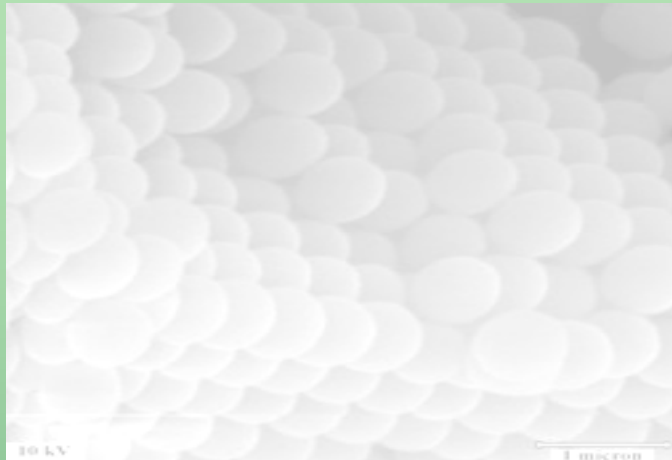
A grating in 2D, also called a **photonic crystal**.

Laser mirror

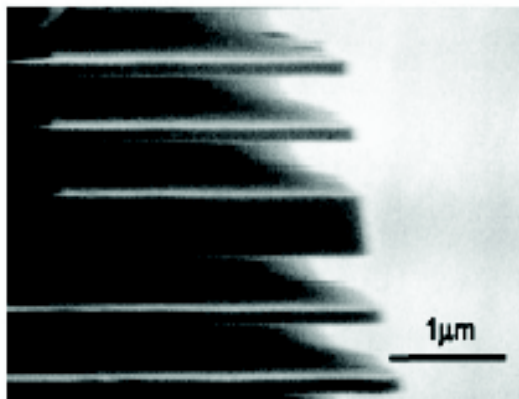
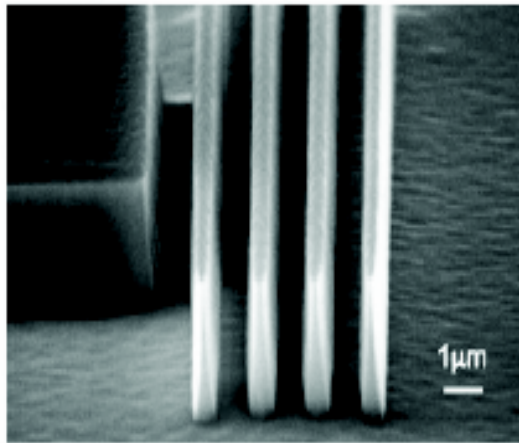




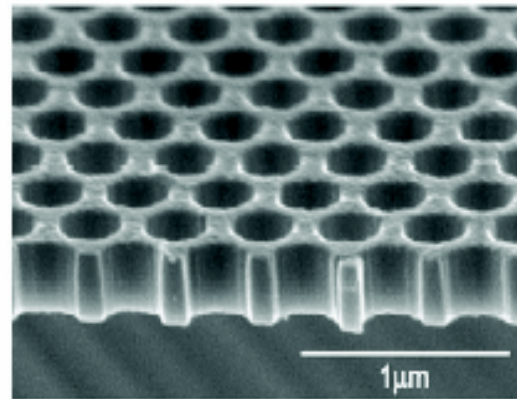
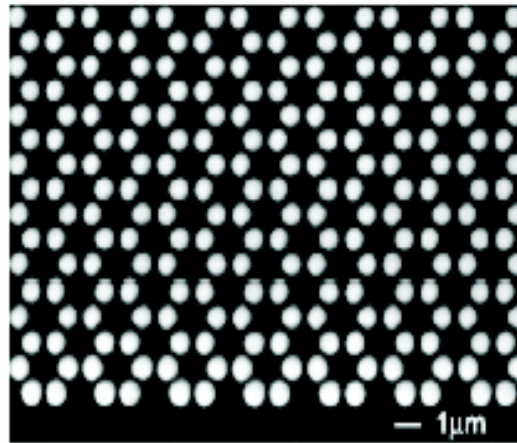
Photonic microcircuits with waveguides



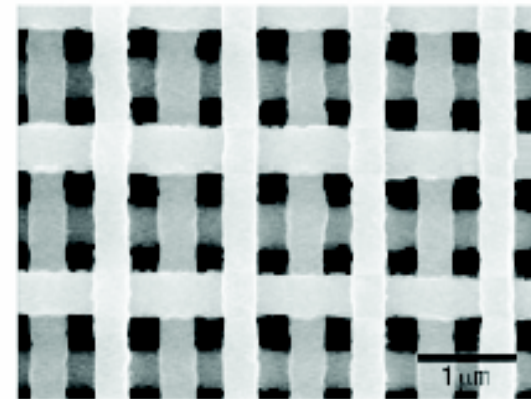
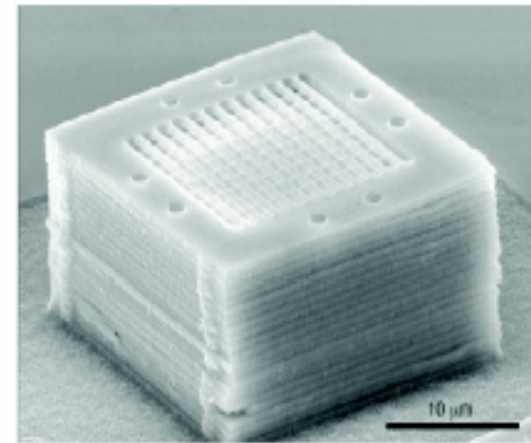
1-D



2-D



3-D



Brillouin zone

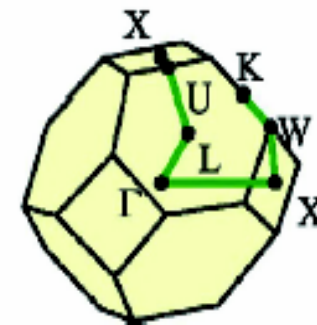
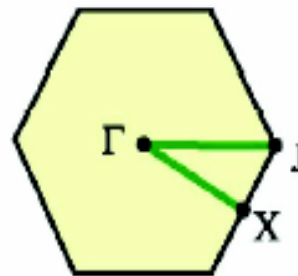
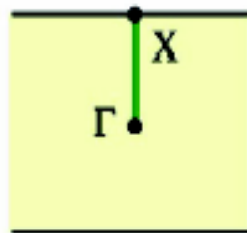
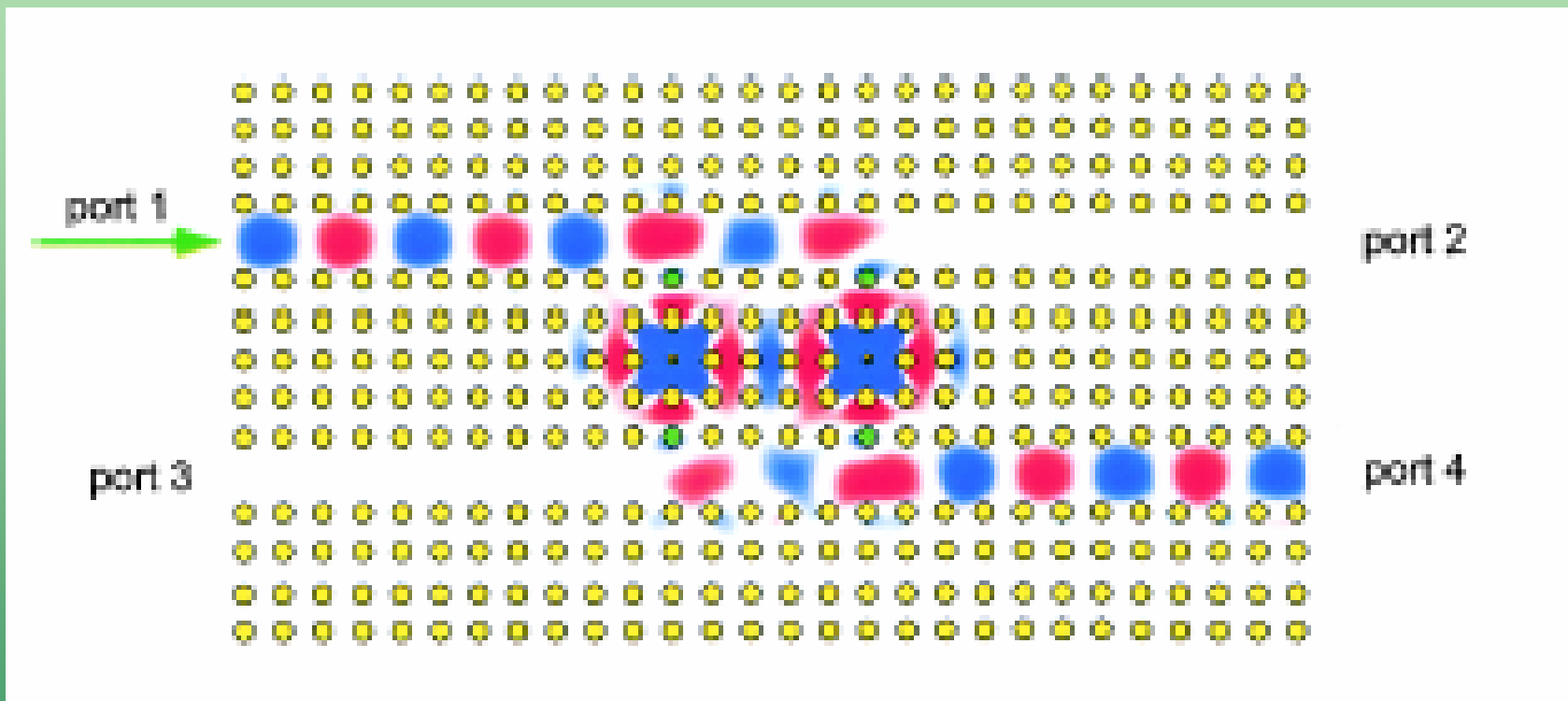


Fig. 1 Various photonic crystal structures of different dimensions and corresponding Brillouin zones.

Defects of non linear materials



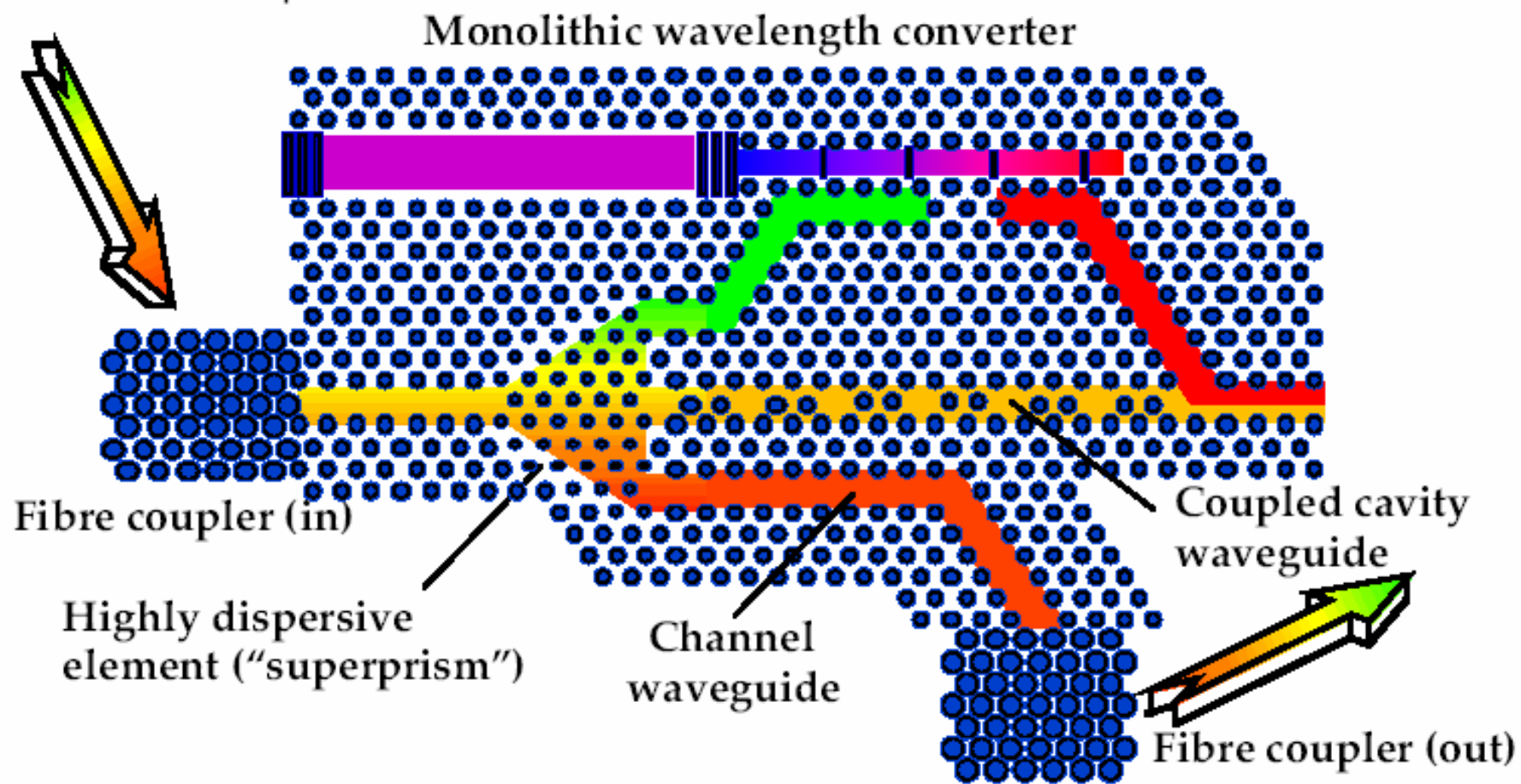


FIGURE 2. Schematic of a variety of photonic functions that could be realised in a photonic crystal based integrated circuit. The circles represent holes etched into a semiconductor heterostructure.

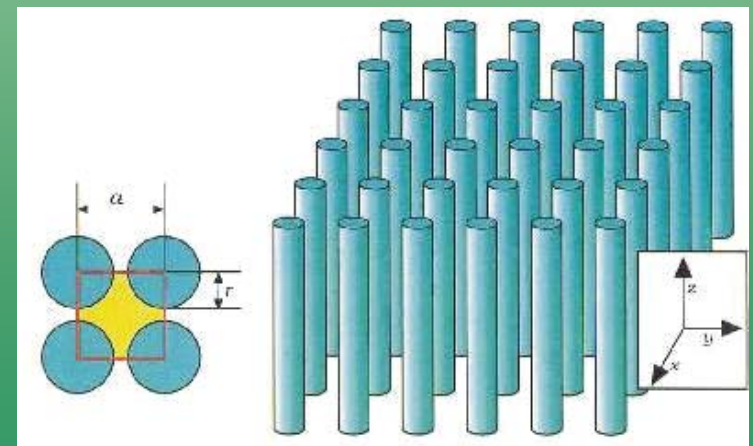
Maxwell Equations

$$\nabla \cdot \vec{E} = 0$$

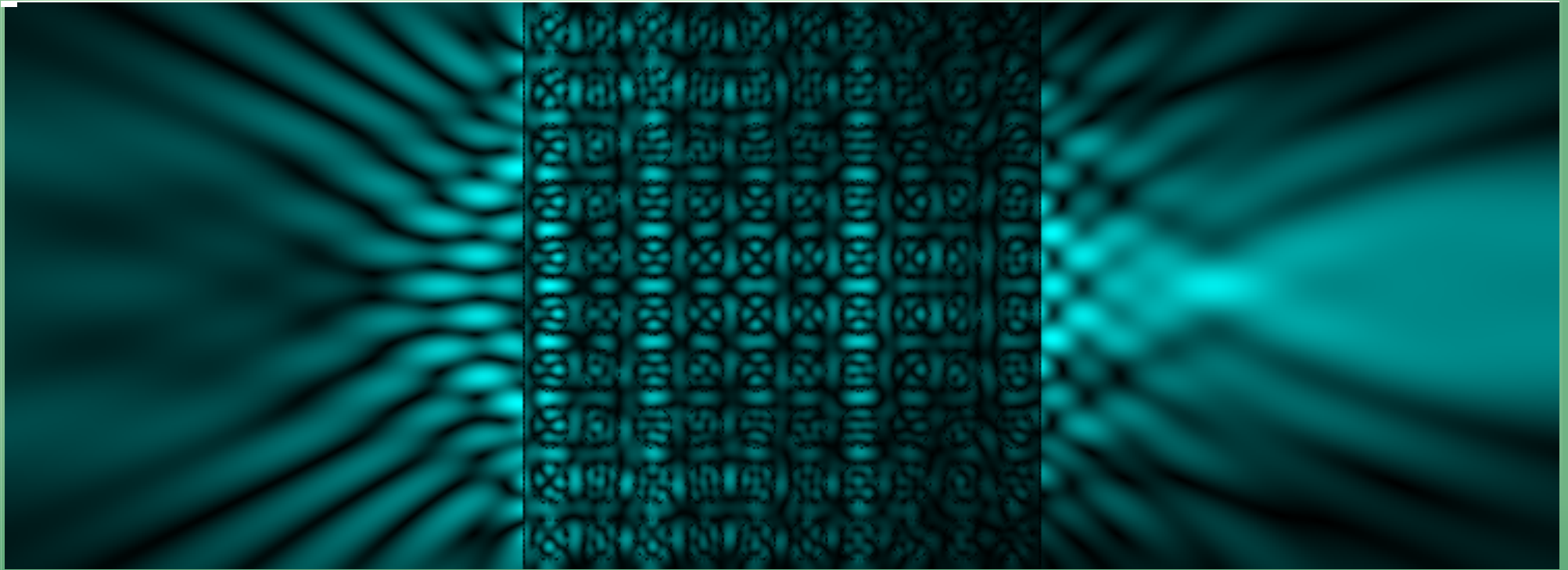
$$\nabla \cdot \vec{B} = 0$$

$$\nabla \times \vec{E} + \frac{1}{c} \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} = 0$$

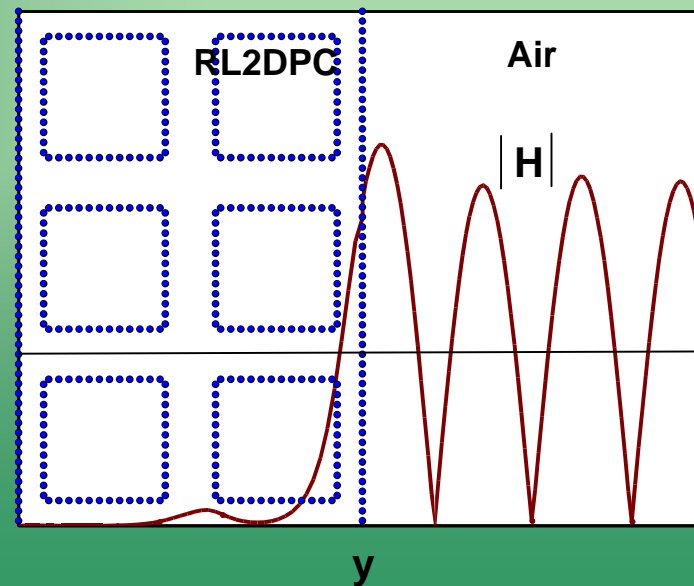
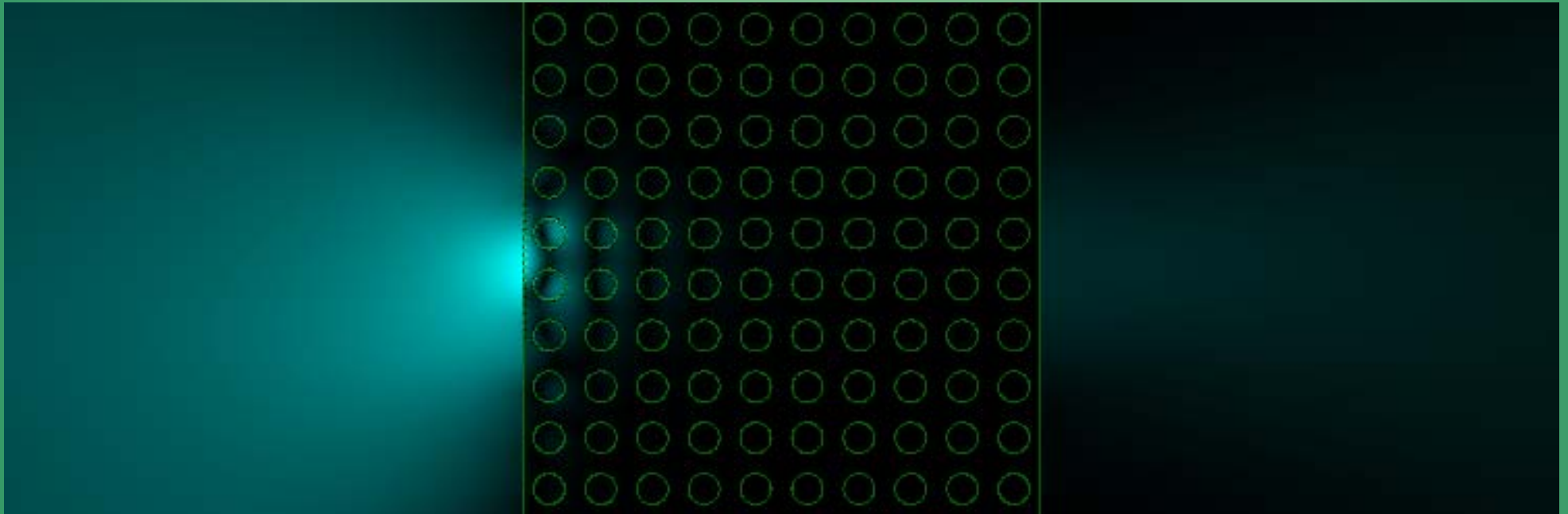
$$\nabla \times \vec{B} - \frac{\epsilon\mu}{c} \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} = 0$$



Incident plane wave: 10×10 2DPC



Incident gaussian beam residing in the frequency region of a band gap



Photonic waveguide

