

Λειτουργία Laser όσον αφορά τους επιτρεπόμενους διαμήκεις τρόπους ταλάντωσης.

Όσοσο, και άλλοι συνεβαλαν σε αυτή την προοδο όπως Einstein , ο οποίος εξήγησε το Φωτοηλεκτρικο φαινομενο, Hertz (ιδετε Figure 2) κ.α.

Εφαρμογές νανοαισθητήρων:

Με την βοήθεια νανοαισθητήρων μπορούμε να χαρακτηρήσουμε την ποιότητα

Οπτικών φραγμάτων (ιδετε αρχείο FabricationHighResolutionGrating.pdf).

*The profiles of the grating were measured by an **atomic force microscope (AFM)** using a high aspect ratio silicon based tip (AR5T made by NANOSENSORS, Switzerland). The tip is designed with a tip radius less than 15 nm and a tip half cone angle smaller than 2.8° .*

Στους οπτικούς αισθητήρες θα πρέπει να κατατάζουμε και εκείνους που στοχεύουν στη λεγόμενη μέτρηση εξ αποστάσεως (remote sensing). Έτσι, οι οπτικοί μικρο και νάνο-αισθητήρες καλούνται να επιτελέσουν ρόλο τόσο σε διερεύνηση αντικειμένων μακριά όσο και αντικειμένων μέσα σε εργαστηριακό χώρο ας μικρακοπική η νανοσκοπική κλίμακα όπως θα δούμε στη συνέχεια..

-Γιατί είναι χρήσιμο να φτάσουμε στη νανοτεχνολογία και νανοαισθητήρες;

-Ποιος είναι ο δρόμος προς τους νανοαισθητήρες ;

Για το remote sensing , τυπικά στέλνουμε μια δέσμη laser προς το υπό εξέταση αντικείμενο.....

Μετα τη σκέδαση του φωτός από το αντικείμενο, συλλέγουμε με κατάλληλη διάταξη , που περιλαμβάνει και τηλεσκόπιο, το φωτεινό σήμα και επιχειρούμε να πάρουμε πληροφορίες από το αντικείμενο που στοχεύσαμε. Εδώ παίζουν ρόλο δύο εναλλακτικά φαινόμενα που θα πρέπει να μας απασχολήσουν

Α) Σκέδαση από ακίνητο στόχο και Β) Σκέδαση από κινούμενο στόχο.

Και στις δύο περιπτώσεις η σκέδαση κατηγοριοποιείται σε *μοριακή σκέδαση* και σε *σκέδαση Mie*, δηλαδή σκέδαση από αντικείμενα πολύ μεγαλύτερης διαμέτρου και μάζας από εκείνη ενός μορίου.

Ας δούμε την πρώτη περίπτωση, εκείνης της μοριακής σκέδασης από ακίνητο στόχο.

4.5 Διερεύνηση του σήματος Rayleigh

Για μια κατανομή Maxwell Boltzman σε μια και τρεις διαστάσεις αντίστοιχα έχουμε:

$$f_x(u_x) = \sqrt{\frac{m}{2\pi kT}} \exp\left[-\frac{mu_x^2}{2kT}\right] \quad (4.9)$$

$$f(u) = \sqrt{\frac{2}{\pi}} \left(\frac{m}{kT}\right)^{3/2} u^3 \exp\left(-\frac{mu^2}{2kT}\right) \quad (4.10)$$

όπου m μάζα του ατόμου ή του σωματιδίου και u η ταχύτητα σε διεύθυνση I και u το μέτρο της ταχύτητας. Κάθε συνιστώσα της ταχύτητας υπόκειται σε κανονική κατανομή με: $\mu_{u_x} = \mu_{u_y} = \mu_{u_z} = 0$ και με τοπική απόκλιση

$$\sigma_{u_x} = \sigma_{u_y} = \sigma_{u_z} = \sqrt{\frac{kT}{m}} \quad (4.11)$$

Οι παραπάνω σχέσεις μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον υπολογισμό της επίδρασης στην Δέσμη Laser από το σχεδιαζόμενο σύστημα LIDAR. Η σύσταση της ατμόσφαιρας πίνακας 4.1 θα έχει ανάλογη επίδραση στην σκεδαζόμενη δέσμη. Με αυτό τον τρόπο θα εκτιμηθεί η διεύρυνση Doppler λόγω της κίνησης των μορίων της ατμόσφαιρας.

- Περίθλαση Κοντινού και Μακρινού Πεδίου
- Συμβολόμετρο Φάμπρυ-Περό
- Εξίσωση Helmholtz για κοντινό πεδίο
- Θεωρήσεις κβαντικής ηλεκτροδυναμικής
- δι-φωτονική απεικόνιση
- CCD Sensors

<http://www.neuro.gatech.edu/groups/potter/papers/tpabto.pdf>

Πως κατασκευάζονται οι Μικροαισθητήρες και Νάνοαισθητήρες;

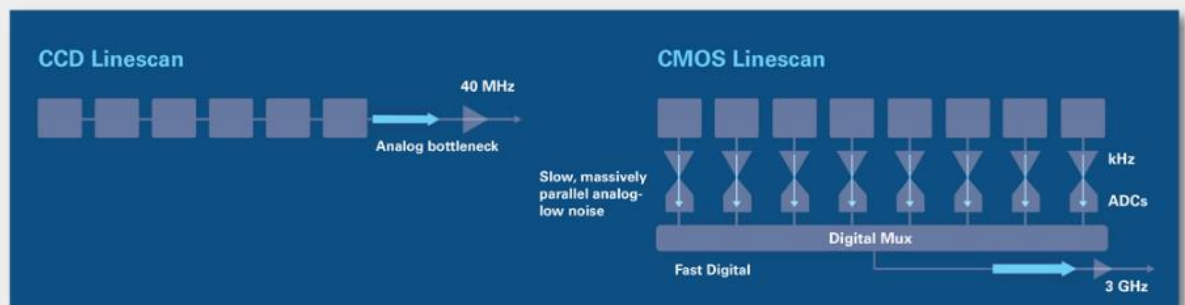
Ας δουμε το αντικείμενο μελέτης που θα μας απασχολήσει αρκετά και αυτό είναι οι αισθητήρες εικόνας (image sensors) [Image], [image1], [image2]

CCD vs CMOS Sensors

Μια παραστατική σύγκριση μεταξύ των αισθητήρων εικόνας CCD και CMOS φαίνεται παρακάτω

Imagers for Machine Vision

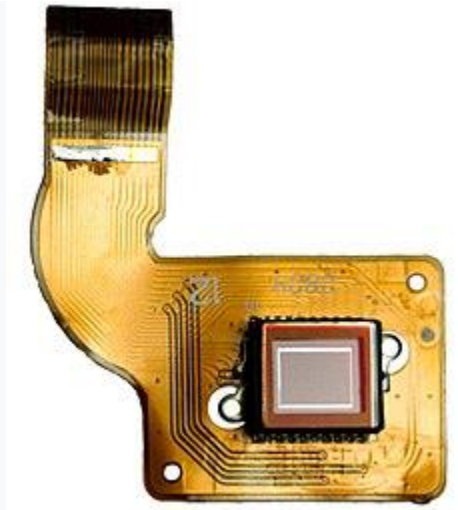
In machine vision, area and line scan imagers rode on the coattails of the enormous mobile phone imager investment to displace CCDs. For most machine vision area and line scan imagers, CCDs are also a technology of the past.



The performance advantage of CMOS imagers over CCDs for machine vision merits a brief explanation. For machine vision, the key parameters are speed and noise. CMOS and CCD imagers differ in the way that signals are converted from signal charge to an analog signal and finally to a digital signal. In CMOS area and line scan imagers, the front end of this data path is massively parallel. This allows each amplifier to have low bandwidth. By the time the signal reaches the data path bottleneck, which is normally the interface between the imager and the off-chip circuitry, CMOS data are firmly in the digital domain. In contrast, high speed CCDs have a large number of parallel fast output channels, but not as massively parallel as high speed CMOS imagers. Hence, each CCD amplifier has higher bandwidth, which results in higher noise. Consequently, high speed CMOS imagers can be designed to have much lower noise than high speed CCDs.

Image sensor

From Wikipedia, the free encyclopedia



A CCD image sensor on a flexible circuit board

An **image sensor** or **imaging sensor** is a **sensor** that detects and conveys the **information** that constitutes an **image**. It does so by converting the variable **attenuation** of light **waves** (as they **pass through** or **reflect off** objects) into **signals**, small bursts of **current** that convey the information. The waves can be **light** or other **electromagnetic radiation**. Image sensors are used in **electronic** imaging devices of both **analog** and **digital** types, which include **digital cameras**, **camera modules**, **medical imaging** equipment, **night vision** equipment such as **thermal imaging** devices, **radar**, **sonar**, and others. As **technology changes**, **digital imaging** tends to replace analog imaging.

Early analog sensors for visible light were **video camera tubes**. Currently, used types are **semiconductor charge-coupled devices** (CCD) or **active pixel sensors** in complementary metal–oxide–semiconductor (**CMOS**) or N-type metal–oxide–semiconductor (**NMOS**, **Live MOS**) technologies. Analog sensors for invisible radiation tend to involve **vacuum tubes** of various kinds. Digital sensors include **flat panel detectors**.

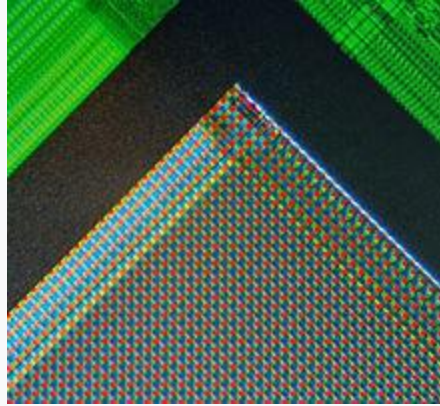
In February of 2018, researchers at Dartmouth University announced a new image sensing technology that the researchers call QIS, for Quanta Image Sensor. Instead of pixels, QIS chips have what the researchers call "jots." Each jot can detect a single particle of light, called a photon.^[1]

Contents

[hide]

- 1CCD vs CMOS technology
- 2Performance
- 3Color separation
- 4Specialty sensors
- 5Sensors used in digital cameras
- 6See also
- 7References
- 8External links

CCD vs CMOS technology[[edit](#)]



A micrograph of the corner of the photosensor array of a [webcam](#) digital camera



Image sensor (upper left) on the motherboard of a Nikon Coolpix L2 6 MP

Most small consumer products containing cameras use a CMOS sensor, because most CMOS sensors are cheaper and smaller than CCDs, lower power consumption in battery powered devices.^[2] CCD sensors are used for high end broadcast quality video cameras, and (C)MOS sensors dominate in still photography and consumer goods where overall cost is a major concern. Both types of sensor accomplish the same task of capturing light and converting it into electrical signals.

Each cell of a [CCD](#) image sensor is an analog device. When light strikes the chip it is held as a small electrical charge in each photo sensor. The charges in the line of pixels nearest to the (one or more) output amplifiers are amplified and output, then each line of pixels shifts its charges one line closer to the amplifier(s), filling the empty line closest to the amplifiers(s). This process is then repeated until all the lines of pixels have had their charge amplified and output.^[3]

A CMOS image sensor has an amplifier for each pixel compared to the few amplifiers of a CCD. This results in less area for the capture of photons than a CCD, but this problem has been overcome by using microlenses in front of each photodiode, which focus light into the photodiode that would have otherwise hit the amplifier and not be detected.^[3] Some CMOS imaging sensors also use [Back-side illumination](#) to increase the number of photons that hit the photodiode.^[4] CMOS sensors can potentially be implemented with fewer components, use less power, and/or provide faster readout than CCD sensors.^[5] They are also less vulnerable to static electricity discharges.

Another design, a hybrid CCD/CMOS architecture (sold under the name "sCMOS") consists of CMOS readout integrated circuits (ROICs) that are bump bonded to a CCD imaging substrate – a technology that was developed for infrared [staring arrays](#) and has been adapted to silicon-based detector technology.^[6] Another approach is to utilize the very fine dimensions available in modern CMOS technology to implement a CCD like structure entirely in CMOS technology: such structures can be achieved by separating individual poly-silicon gates by a very small gap; though still a

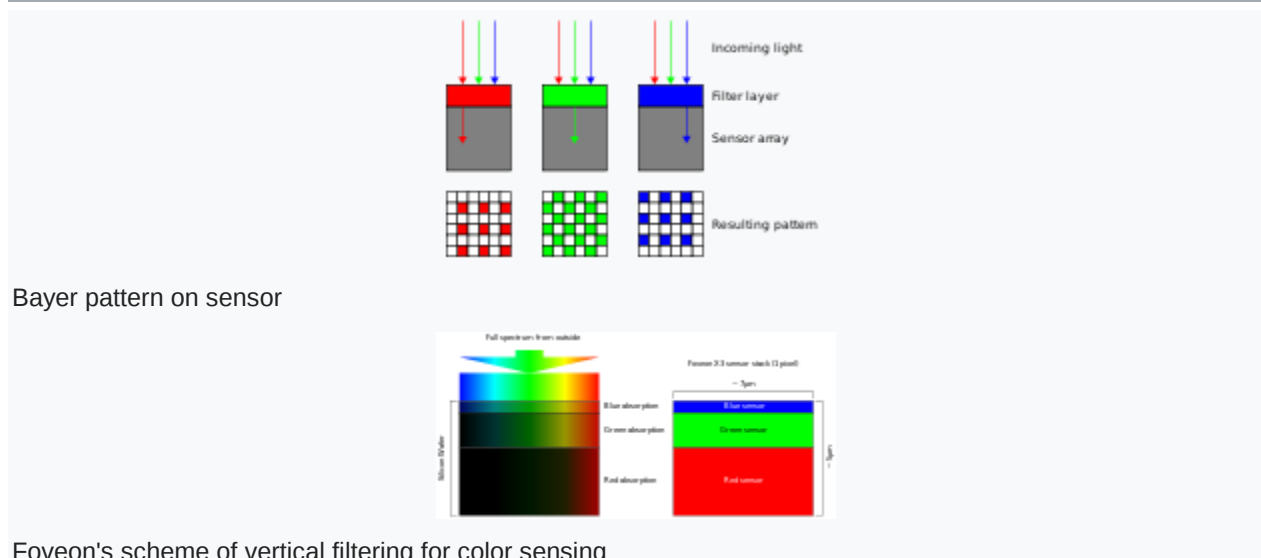
product of research hybrid sensors can potentially harness the benefits of both CCD and CMOS imagers.^[7]

Performance^[edit]

See also: [EMVA1288](#)

There are many parameters that can be used to evaluate the performance of an image sensor, including [dynamic range](#), [signal-to-noise ratio](#), and low-light sensitivity. For sensors of comparable types, the signal-to-noise ratio and dynamic range improve as the [size](#) increases.

Color separation^[edit]



There are several main types of color image sensors, differing by the type of color-separation mechanism:

- **Bayer filter sensor**, low-cost and most common, using a [color filter array](#) that passes red, green, and blue light to selected [pixel sensors](#). Each individual sensor element is made sensitive to red, green, and blue by means of a [color gel](#) made of chemical dye placed over each individual element. Although inexpensive to manufacture, this technique lacks the color purity of [dichroic filters](#). Because the color gel segment must be separated from the others by a frame (similar to [stained glass](#) windows), less of the areal density of a Bayer filter sensor is available to capture light, making the Bayer filter sensor less sensitive than other color sensors of similar size. This loss can be negated by using larger sensor size, albeit at greater cost. The most common Bayer filter matrix uses two green pixels, and one each for red and blue. This results in less resolution for red and blue colors, corresponding to the human eye's reduced sensitivity at the limits of the visual spectrum. The missing color samples may be interpolated using a [demosaicing](#) algorithm, or ignored altogether by [lossy compression](#). In order to improve color information, techniques like [color co-site sampling](#) use a [piezo](#) mechanism to shift the color sensor in pixel steps.
- **Foveon X3 sensor**, using an array of layered [pixel sensors](#), separating light via the inherent wavelength-dependent absorption property of silicon, such that every location senses all three color channels. This method is similar to how color film for photography works.
- **3CCD**, using three discrete image sensors, with the color separation done by a [dichroic prism](#). The dichroic elements provide a sharper color separation, thus improving color quality. Because each sensor is equally sensitive within its [passband](#), and at full resolution, 3-CCD sensors

produce better color quality and better low light performance. 3-CCD sensors produce a full 4:4:4 signal, which is preferred in [television broadcasting](#), [video editing](#) and [chroma key](#) visual effects.

Specialty sensors^[edit]



Infrared view of the [Orion Nebula](#) taken by [ESO's HAWK-I](#), a cryogenic wide-field imager^[8]

Special sensors are used in various applications such as [thermography](#), creation of [multi-spectral images](#), [video laryngoscopes](#), [gamma cameras](#), sensor arrays for [x-rays](#), and other highly sensitive arrays for [astronomy](#).^[*citation needed*]

While in general digital cameras use a flat sensor, Sony prototyped a curved sensor in 2014 to reduce/eliminate [Petzval field curvature](#) that occurs with a flat sensor. Use of a curved sensor allows a shorter and smaller diameter of the lens with reduced elements and components with greater aperture and reduced light fall-off at the edge of the photo.^[9]

Sensors used in digital cameras^[edit]

A listing of digital camera sensors can be found [here](#).

See also^[edit]

- [Contact image sensor](#) (CIS)
- [Video camera tube](#)
- [Semiconductor detector](#)
- [Full-frame digital SLR](#)
- [Image sensor format](#), the sizes and shapes of common image sensors
- [Color filter array](#), mosaic of tiny color filters over color image sensors
- [Sensitometry](#), the scientific study of light-sensitive materials
- [History of television](#), the development of electronic imaging technology since the 1880s
- [List of large sensor interchangeable-lens video cameras](#)
- [Oversampled binary image sensor](#)
- [computer vision](#)

References^[edit]

1. **Jump up**^ "Super Sensitive Sensor Sees What You Can't". *npr.org*. Archived from the original on 24 March 2018. Retrieved 28 April 2018.
2. **Jump up**^ "CMOS Is Winning the Camera Sensor Battle, and Here's Why". *techhive.com*. 2011-12-29. Archived from the original on 2017-05-01. Retrieved 2017-04-27.

3. ^ Jump up to:^a 2002-2017., Canon Europa N.V. and Canon Europe Ltd. *"CCD and CMOS sensors - Canon Professional Network"*. Canon Professional Network. *Archived from the original on 28 April 2018*. Retrieved 28 April 2018.
4. Jump up^ *"What is a backlit CMOS sensor?"*. techradar.com. 2012-07-02. *Archived from the original on 2017-05-06*. Retrieved 2017-04-27.
5. Jump up^ Moynihan, Tom. *"CMOS Is Winning the Camera Sensor Battle, and Here's Why"*. *Archived from the original on 25 September 2015*. Retrieved 10 April 2015.
6. Jump up^ scmos.com Archived 2012-06-03 at the [Wayback Machine](#)., home page
7. Jump up^ [ieee.org](#) - CCD in CMOS Archived 2015-06-22 at the [Wayback Machine](#). Padmakumar R. Rao et al., "CCD structures implemented in standard 0.18 μm CMOS technology"
8. Jump up^ *"Deepest Ever Look into Orion"*. *Archived from the original on 13 July 2016*. Retrieved 13 July 2016.
9. Jump up^ Steve Dent. *"Sony's first 'curved sensor' photo may herald better images, cheaper lenses"*. *Archived from the original on July 11, 2014*. Retrieved July 8, 2014.

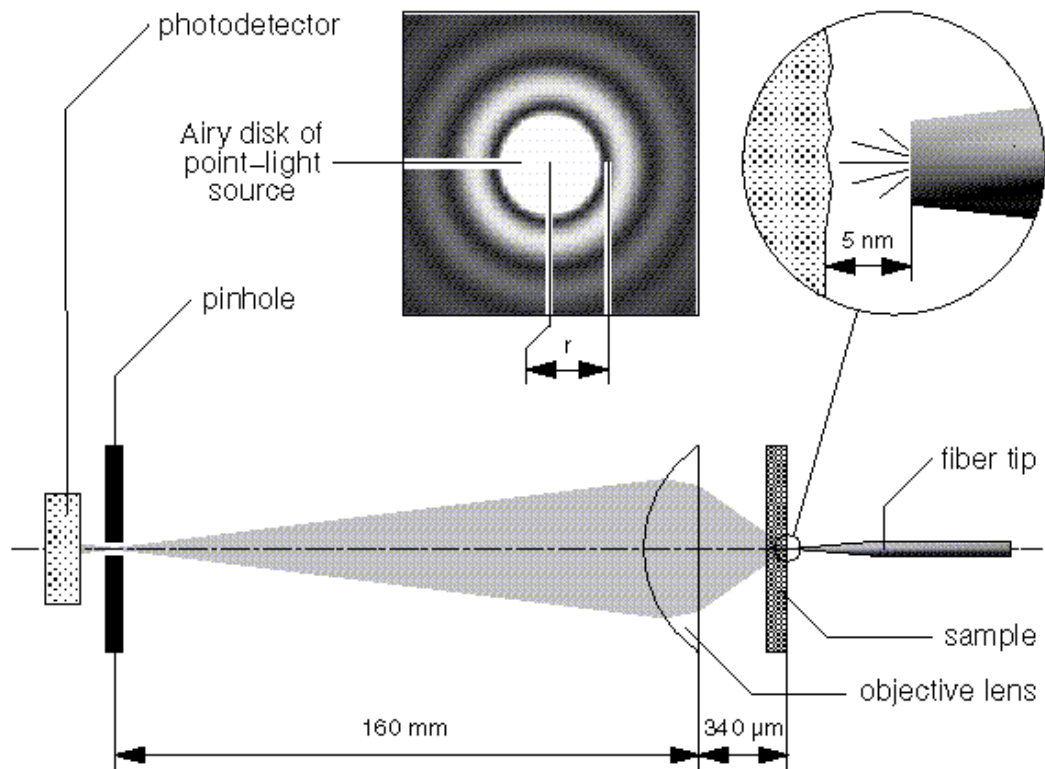
<https://www.banggood.com/1600X-Zoom-8-LED-USB-Digital-Microscope-Hand-Held-Biological-Endoscope-with-Bracket-p-1222332.html?>

Εναλλακτικά προς το Atomic Force microscope μπορεί να χρησιμοποιηθεί το SNOM

Rev. Sci. Instrum. 66(6), 3569-3575 (1995), G. Tarrach et al.

Design and construction of a versatile scanning near-field optical microscope for fluorescence imaging of single molecules,G. Tarrach, M.

<http://monet.physik.unibas.ch/~tarrach/rsi95/rsi95.html>



SNOM – Magneto-optical characterization:

Χρήση Οπτικών αισθητήρων για μέτρηση άλλων μεγεθών

Παραδείγματα έχουμε από αισθητήρες που επιτρέπουν την μέτρηση μεγάλων μαγνητικών σε άτομα (βασισμένων σε φαινόμενο Zeeman) και ηλεκτρικών πεδίων (βασισμένων στο φαινόμενο Stark), (αναφορές [2], [3])

Κλιμακωτοί Φασματικοί αισθητήρες:

Αυτοί βασίζονται κυρίως σε οπτικά φράγματα. Αυτά επιτρέπουν την καταγραφή ενός μέρους μόνο του ορατού φάσματος ενώ συχνά απαιτείται σε εφαρμογές η δυνατότητα καταγραφής ευρύτερης

φασματικής περιοχής, π.χ. από 200 nm ως 1000 nm, και ταυτοχρόνως με υψηλή διακριτική ικανότητα της τάξης του $1 \text{ \AA}$. Αυτή η ανάγκη ικανοποιείται με τα λεγόμενα *κλιμακωτά φράγματα* (echelle gratings). Ως γνωστόν, η διακριτική ικανότητα ενός οπτικού φράγματος δίνεται από την έκφραση:

$$\lambda/\Delta\lambda = m N,$$

Χρήση dSLR φωτογραφικής μηχανής για καταγραφή φασμάτων

Η μεγάλη χωρική διακριτική ικανότητα μιάς **dSLR** μας επιτρέπει να καταγράψουμε με ακρίβεια και ταχύτητα οπτικά φάσματα. Ο τρόπος λειτουργίας είναι, με λίγες γραμμές, ο εξής: Το προς ανάλυση φως εισέρχεται σε ένα κλειστό θάλαμο που περιέχει ένα κοίλο οπτικό φράγμα.

Το φάσμα αναλύεται και απεικονίζεται στην φωτογραφική μηχανή, με μία *παράμετρο πλακός* (γραμμική μεταβολή (Δx) ανά μεταβολή μήκους κύματος ($\Delta\lambda$)), $\Delta x/\Delta\lambda$ της τάξης των $32 \text{ }\mu\text{m}/\text{\AA}$. . Αν τώρα, έκαστο εικονοκύτταρο έχει γραμμική διάσταση περίπου $5 \text{ }\mu\text{m}$, παρατηρούμε πως φασματικές δομές εύρους $1 \text{ \AA}$ αναλύονται πολύ εύκολα .

2.1.1 Γωνιακή και γραμμική διασπορά

Κάθε τύπος μέσου διασποράς χαρακτηρίζεται από τη γωνιακή διασπορά A , που ορίζεται ως $\frac{d\beta}{d\lambda}$, όπου $d\beta$ είναι η γωνιακή διαφορά μεταξύ δύο ακτίνων με διαφορά μήκους κύματος $d\lambda$ που βγαίνουν ή ανακλώνται από το μέσο. Η γωνιακή διασπορά σχετίζεται μόνο με το μέσο διασποράς και είναι ανεξάρτητη από το είδος της διάταξης στην οποία θα χρησιμοποιηθεί αυτό. Όταν το μέσο διασποράς αποτελεί μέρος ενός οπτικού συστήματος, τα χαρακτηριστικά και των δύο συνδυάζονται, για να καθορίσουν τη γραμμική διασπορά του συστήματος, $\frac{dl}{d\lambda}$, όπου dl είναι η απόσταση στο εστιακό επίπεδο ανάμεσα σε δύο ακτίνες με διαφορά μήκους κύματος $d\lambda$. Αν η προσπίπτουσα δέσμη στο μέσο διασποράς είναι παράλληλη, τότε η γραμμική διασπορά δίνεται από τη σχέση:

$$\frac{dl}{d\lambda} = f_2 \frac{d\beta}{d\lambda} = f_2 A, \quad (2.1)$$

όπου f_2 είναι η εστιακή απόσταση των οπτικών που χρησιμοποιούνται, για να

όπου f_2 είναι η εστιακή απόσταση των οπτικών που χρησιμοποιούνται, για να συγκεντρώσουν την περιθλώμενη δέσμη στον ανιχνευτή.

2.1.2 Παράγοντας πλακός ή αντίστροφη γραμμική διασπορά

Ο παράγοντας πλακός (Plate factor) ή αντίστροφη γραμμική διασπορά (Reciprocal linear dispersion) αποτελεί ένα από τα πιο σημαντικά χαρακτηριστικά ενός φασματομέτρου, συμβολίζεται με P και ορίζεται από τη σχέση:

$$P = \frac{1}{f_2 A}. \quad (2.2)$$

Οι μονάδες που χρησιμοποιούνται συνήθως είναι Å/mm ή nm/mm.

2.1.3 Όριο διακριτικής ικανότητας και φασματική αναλυτική ισχύς

Αν θεωρήσουμε ένα φασματόμετρο με σχισμή εισόδου w που φωτίζεται από φωτόνια με δύο διαφορετικά μήκη κύματος λ και $\lambda + \delta\lambda$, τότε η εικόνα της σχισμής για κάθε μήκος κύματος θα έχει πλάτος w' και από την εξίσωση (2.1) η απόσταση ανάμεσα στα κέντρα των δύο εικόνων θα είναι

$$\Delta l = f_2 A \Delta\lambda. \quad (2.3)$$

Ορίζουμε το όριο της διακριτικής ικανότητας $\delta\lambda$ ως τη διαφορά μήκους κύματος για την οποία $\Delta l = w'$, δηλαδή τέτοιο, ώστε οι απεικονίσεις της σχισμής στον ανιχνευτή για κάθε μήκος κύματος να είναι οριακά διακριτές σύμφωνα με το κριτήριο του Nyquist¹ [24]. Από τις εξισώσεις (2.1), (2.2) και (2.3) προκύπτει ότι

$$\delta\lambda = \frac{d\lambda}{dl}(\Delta l) = Pw' \quad (2.4)$$

Η φασματική αναλυτική ισχύς (spectral resolving power) R είναι αδιάστατο

Η φασματική αναλυτική ισχύς (spectral resolving power) R είναι αδιάστατο μέγεθος και μετρά το όριο της διακριτικής ικανότητας που μπορεί να πετύχει ένα δοσμένο φασματόμετρο. Ορίζεται από τη σχέση:

$$R = \frac{\lambda}{\delta\lambda}. \quad (2.5)$$

Με βάση την εξίσωση φράγματος ανάκλασης,

$$d(\sin\alpha + \sin\beta) = m\lambda$$

η γωνιακή διασπορά γράφεται

$$A = d\beta/d\lambda = m/(d \cos\beta) = mN/\cos\beta$$

όπου N η γραμμική πυκνότητα χαραγών

$$A = \frac{\sin\beta + \sin\alpha}{\lambda \cos\beta}. \quad (2.11)$$

Από την εξίσωση (2.10) βλέπουμε ότι η γωνιακή διασπορά για δεδομένη τάξη m είναι συνάρτηση της γωνίας β και της πυκνότητας χαραγών N . Ενώ από την εξίσωση (2.11) γίνεται αντιληπτό, ότι για να μεταβληθεί η γωνιακή διασπορά, χρειάζεται να αλλάξει η γωνία περίθλασης ή/και να χρησιμοποιηθεί ένα άλλο φράγμα. Από την εξίσωση (2.11) για δεδομένο μήκος κύματος η γωνιακή διασπορά φαίνεται ότι εξαρτάται μόνο από τις γωνίες α και β ανεξάρτητα από το m και το N . Έτσι η επιθυμητή γωνιακή διασπορά μπορεί να επιτευχθεί με πολλούς συνδυασμούς του m και του N , υπό την προϋπόθεση ότι οι γωνίες παραμένουν αμετάβλητες και το γινόμενο $m \cdot N$ σταθερό. Το γεγονός αυτό οδήγησε στην κατασκευή φραγμάτων ειδικά σχεδιασμένων να επιτυγχάνουν μεγάλες γωνιακές διασπορές κάνοντας τις γωνίες α και β μεγάλες. Αυτά τα φράγματα καλούνται κλιμακωτά, ενώ τα τυπικά φράγματα πρώτης ή δεύτερης τάξης, για να ξεχωρίζουν, καλούνται συχνά *echellette*. Για τα κλιμακωτά φράγματα θα ειπωθούν περισσότερα στην επόμενη παράγραφο.

Η αναλυτική ισχύς στο όριο της διακριτικής ικανότητας ενός φράγματος

Η αναλυτική ισχύς στο όριο της διακριτικής ικανότητας ενός φράγματος δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$R_0 = mNW, \quad (2.12)$$

όπου W το ολικό πλάτος του φράγματος. Αντικαθιστώντας από την εξίσωση του φράγματος (2.9) προκύπτει και η παρακάτω σχέση για την αναλυτική ισχύ συναρτήσει των γωνιών α και β :

$$R_0 = \frac{W}{\lambda} (\sin \alpha + \sin \beta) \quad (2.13)$$

Από αυτή τη σχέση βλέπουμε ότι το R είναι ανάλογο με το πλάτος του φράγματος για ένα δεδομένο ζεύγος γωνιών α, β . Επίσης, ο αριθμητής της σχέσης έχει και μία γεωμετρική ερμηνεία είναι η διαφορά δρόμου ανάμεσα στις δύο ακραίες ακτίνες της δέσμης που καλύπτει το πλάτος του φράγματος, και η αναλυτική ισχύς είναι ο αριθμός των μηκών κύματος που περιλαμβάνονται σε αυτή τη διαφορά.

[1]

[https://chem.libretexts.org/Textbook Maps/Physical and Theoretical Chemistry Textbook Maps/Map%3A Physical Chemistry \(McQuarrie and Simon\)/01%3A The Dawn of the Quantum Theory/1.3%3A Photoelectric Effect Explained with Quantum Hypothesis](https://chem.libretexts.org/Textbook%20Maps/Physical%20and%20Theoretical%20Chemistry%20Textbook%20Maps/Map%3A%20Physical%20Chemistry%20(McQuarrie%20and%20Simon)/01%3A%20The%20Dawn%20of%20the%20Quantum%20Theory/1.3%3A%20Photoelectric%20Effect%20Explained%20with%20Quantum%20Hypothesis)

[2] Atoms in a magnetic field

<https://www.st-andrews.ac.uk/~dc43/PH4021/Lectures%2014-17%20EXTERNAL%20MAGNETIC%20FIELDS.pdf>

[3] All-Optical Sensing of the Components of the Internal Local Electric Field in Proteins M. Drobizhev, IEEE Photonics J. 2012 October ; 4(5): 1996–2001

[image] https://en.wikipedia.org/wiki/Image_sensor

[image1] <https://electronics.howstuffworks.com/cameras-photography/digital/question362.htm>

[image2] <https://www.teledynedalsa.com/en/learn/knowledge-center/ccd-vs-cmos/>

[image-electr] Review Optical and Electric Multifunctional CMOS Image Sensors for On-Chip Biosensing Applications, *Takashi Tokuda et al*, Materials 2011, 4, 84-102; doi:10.3390/ma4010084 (paper226...)