

ПЗЗ - МАТРИЦІ

Неуймін О.С., Дяченко С.М.

ПЗЗ–матриця (скорочено від «пристрій з зарядовим зв'язком») або CCD-матриця (скорочено від «Charge Coupled Device») [1] є одним з основних елементів цифрових фотоапаратів і фотокамер. Принцип роботи ПЗЗ з ідеєю зберігати і потім зчитувати електронні заряди був розроблений співробітниками корпорації Bell у ході пошуку нових типів пам'яті для ЕОМ. Ідея виявилася неперспективною, але здатність кремнію реагувати на видиме світло, привела до думки спробувати використати такий принцип для отримання і обробки зображень об'єктів. 2006 року Національна Академія інженерів (США) нагородила Уїлларда Бойля (Willard Boyle) і Джорджа Сміта (George Smith) премією Чарльза Старка [2] за внесок у винахід та дослідження ПЗЗ–структур в 1969 році. У 2009 році обидва винахідники отримали Нобелівську премію по фізиці за розробку CCD–матриці, яка відкрила шлях цифровій фотографії та цифровому відео.

На сьогодні дослідницькі лабораторії всього світу повідомляють про нові удосконалення в конструкції і технології виробництва датчиків зображення. Розвиток та дослідження ПЗЗ-матриць привели до створення цілого покоління пристроїв. На ринку з'явилися цифрові сканери, пристрої зчитування цифрового коду, копіювальні пристрої т.ін. Високоякісні професійні фотоапарати, системи технічного зору, системи формування зображення високої чіткості, безпроводні системи безпеки і військова/аерокосмічна апаратура не можуть обійтися без ПЗЗ-датчиків зображення.

Принцип дії ПЗЗ-матриці

Пристрій з зарядовим зв'язком являє собою однорядкову або двовимірну матрицю, кожен елемент якої є мініатюрним електричним конденсатором типу метал-оксид-напівпровідник (МОИ) (рис.1).

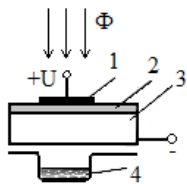


Рис. 1.

Елемент ПЗЗ – електричний конденсатор типу МОИ:
1 – металевий електрод; 2 – діелектрик; 3 – напівпровідник р-типу; 4 – потенціальна яма, що сформувалася біля площини розділу між діелектриком та напівпровідником під впливом прикладеного до електрода імпульсу позитивної напруги.

В основі роботи ПЗЗ лежить явище внутрішнього фото ефекту. При освітленні структури світловим потоком Φ в напівпровіднику генеруються пари носіїв заряду — електрон і дірка. Під дією позитивної напруги (+U) дірки витісняються в глиб напівпровідника, а неосновні носії заряду, електрони, накопичуються в потенціальній ямі. Тут вони можуть зберігатися достатньо тривалий час, оскільки дірок в збідненій області немає і елект-

рони не рекомбінують. Електроди виготовлені з полікристалічного кремнію, який є прозорим майже у всьому видимому діапазоні. Якщо два мініатюрних конденсатори розмістити один біля одного так, щоб їх електричні поля впливали один на одного, потенціальні ями двох конденсаторів стануть зв'язаними, а накопичений заряд потече в більш глибоку потенціальну яму. Таке перетікання зарядів складає основу принципу дії пристроїв з зарядовим зв'язком.

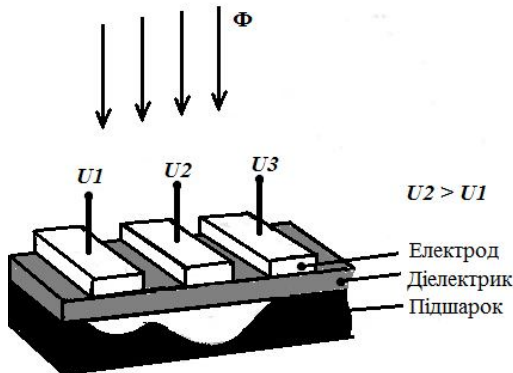


Рис.2. Елемент трифазного ПЗЗ

На рис. 2 показана структура одного елемента, лінійного трифазного ПЗЗ. Заряд, нагромаджений під одним електродом, у будь-який момент може бути перенесений під сусідній електрод, якщо його потенціал (U_2) буде збільшений, тоді як потенціал (U_1) першого електроду буде зменшений. Перенесення в трифазному ПЗЗ можна виконати в одному з двох напрямів (ліворуч або праворуч). Всі зарядові пакети лінійки переносять-

ся в той же бік одночасно.

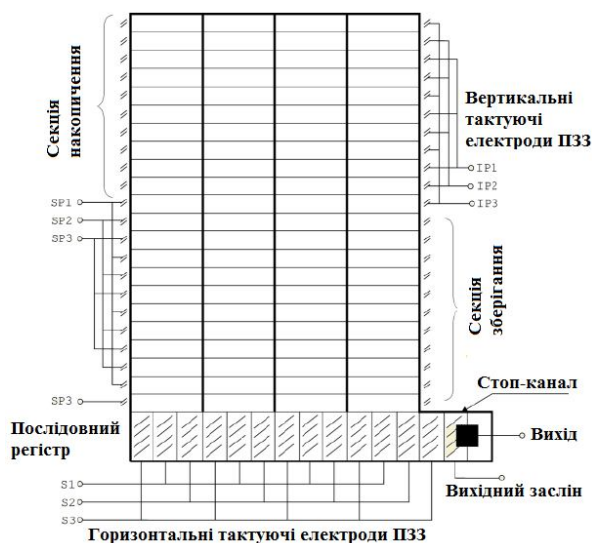


Рис. 3. Структура ПЗЗ-матриці

Двовимірний масив (матрицю) пікселів отримують за допомогою стоп-каналів, що розділяють електродну структуру ПЗЗ на стовпці. Стоп-канали — це вузькі області, що формуються спеціальними технологічними прийомами в поверхневій області, які перешкоджають розтіканню заряду під сусідні стовпці. Як правило, такі матриці складаються з двох ідентичних областей — області накопичення і області зберігання. Пристрій схематично показаний на рис. 3.

Область зберігання захищена від дії світла світлонепроникним покриттям. Зарядовий рельєф, сформований в області накопичення, швидко переноситься в область зберігання і, потім, поки експонується наступний кадр, зчитується порядково у вихідний зсуваючий (послідовний) регістр. З послідовного регістра зарядові пакети виводяться один за одним послідовно через вихідний підсилювач, розташований на цьому ж кристалі. У цьому вузлі відбувається перетворення заряду в напругу для подальшої обробки сигналу зовнішньою електронною апаратурою. [3].

Існують також матриці, в яких відсутня секція зберігання, і тоді рядкове перенесення здійснюється по секції накопичення. Для роботи таких матриць потрібний оптичний заслін.

Принцип кольоровості ПЗЗ

Набір сенсорів ПЗЗ-матриці відображає рівень яскравості різних ділянок зображення і на виході формується чорно-біле зображення.

Для формування кольорового зображення на сенсор накладається світлофільтр. Розподіл таких світлофільтрів по поверхні матриці утворює масив кольорових фільтрів. Принцип дії кольорового фільтру дуже простий: він пропускає світло тільки певного кольору (інакше кажучи, тільки світло з певною довжиною хвилі). Будь-який колірний відтінок можна отримати змішуванням в певних пропорціях декількох основних (базових) кольорів. У найбільш популярній адитивній моделі RGB (Red, Green, Blue) таких кольори три: червоний, зелений і синій. Колірна модель RGB не єдина, але в переважній більшості цифрових Web-камер використовують саме її.

Найбільш популярними є масиви кольорових фільтрів моделі Байера, створеної науковим робітником компанії KODAK Брюсом Байером (Bruce Bayer) в 1976 році [4], за що він був нагороджений Королівським Фотографічним Товариством (Royal Photographic Society) в 2009 році [5]. Компанія Eastman Kodak представила принципово нову світлочутливу цифрову матрицю з кольоровими фільтрами моделі Truesense. Вона будується на принципі стандартних фільтрів моделі Байера, але з додаванням додаткового панхроматичного пікселя або, як називають його у компанії, «clear» - прозорий або безбарвний. Він ефективно сприймає світло відразу в усьому видимому діапазоні, тому вся матриця збирає набагато більшу долю світла, що потрапляє на неї. Нова матриця має приблизно в 2-4 рази більшу чутливість в порівнянні з існуючими зараз моделями і без погіршення якості зображення [6].

Варіацією фільтра Байера є RGBE-фільтр від компанії Sony [7]. Тобто до RGB-світлофільтра доданий Emerald - смарагдовий. Теоретично, четвертий компонент для визначення кольору вже зайвий. Проте на практиці він трохи наближає колірну гамму зображення до натуральної (для людського ока), покращуючи передачу синьо-зелених і червоних відтінків.

Вище були розглянуті мозаїки в основу яких покладена модель адитивного колірного синтезу (RGB), проте випускаються сенсори з мозаїками (CYM=Cyan Yellow Magenta). Компанія Sony випускає матриці з CYMG-фільтром. Основні компоненти в якому - CYM (блакитний, жовтий, пурпурний) і один, додатковий, адитивний - G (зелений). Типова проблема сенсорів з такою мозаїкою – це погана реєстрація світла в синьому та червоному діапазонах довжин хвиль.

Іншим способом отримання кольорового зображення є використання матриць Foveon X3 [8]. В основу покладена ідея поглинання фотонів різних довжин хвиль на різних глибинах у напівпровіднику. Це дає можливість для кожного пікселя сенсора отримувати свої власні RGB-

компоненти, в одному пікселі поєднані детектори усіх трьох колірних компонент. Дуже витончена ідея: вмить позбавляє від колірної інтерполяції, згладжування і різниці фаз між RGB-компонентами.

Метод отримання кольору з використанням 3CCD матриць - це технологія отримання кольорового зображення, заснована на застосуванні трьох приймачів світла і дихроїдних призм, що ділять світло по спектру на три пучки : червоний, зелений і синій. Кожен з цих пучків прямує на окрему матрицю. Незважаючи на те, що в якості фотоприймачів можуть бути використані матриці виготовлені за різними технологіями, єдиним широко поширеним методом стало застосування саме трьох CCD-матриць. Завдяки цій технології вдається помітно підвищити якість зображення, передусім відтворення кольорів, збільшити роздільну здатність, уникнути кольорових ореолів на краях об'єктів на зображенні.

Практично в кожній напів- і професіональній відеокамерах використовується технологія 3CCD. Вона являється стандартом професіональної зйомки. Такі відеокамери використовуються в операторській справі і придатні для зйомок тележурналістики, репортажів, подій, документальних, корпоративних фільмів, телевізійної продукції тощо. Недоліками камер є складність конструкції і висока вартість [9].

Сигнал з матриці, яка використовує колірний фільтр, поступає в спеціальний процесор для його дешифрування (перетворення його на RGB складові). Сигнали основних кольорів E_R , E_G , E_B сумуються в певному відношенні для отримання сигналу яскравості E_Y . При наявності цього сигналу, який необхідний для реалізації умови сумісності з чорно-білою системою, не потрібно додаткова передача по каналу зв'язку трьох сигналів E_R , E_G , E_B . Достатньо передавати будь-які два з них, а інформацію про третій отримати в декодуючому пристрої відніманням від E_Y два інших. Оскільки сигнал яскравості несе повну інформацію про співвідношення яскравості елементів зображення, то ця інформація може бути виключена з двох інших сигналів. Тому передають тільки три сигнали – яскравості E_Y і два різницеві сигнали, а саме E_{R-Y} та E_{B-Y} , так як вони мають найкраще співвідношення сигнал/шум. Після цього з цих сигналів формується повний кольоровий телевізійний сигнал.[10].

Основні параметри ПЗЗ матриць

Кількість пікселів матриці (Array Format). Цей параметр характеризує роздільну здатність датчика. Чим більше пікселів, тим більш деталізованим буде зображення. Роздільна здатність визначається двома способами. По-перше, можна підрахувати загальне число пікселів (наприклад, якщо воно становить 1,5 мільйона, говорять про 1,5-мегапіксельну камеру). По-друге, можна вказати кількість стовпців і рядків ПЗЗ-матриці, що беруть участь у формуванні зображення (скажімо, 1360x1020) - це максимальний розмір кадру у пікселях, тобто число активних пікселів, які використовуються для одержання зображення. Різниця між цими двома показниками зазвичай не перевищує 5%. Існує кілька причин такої розбіжності

ті. По-перше, в процесі сенсора створюються «темні», дефектні пікселі (створення повністю справного сенсора практично неможливо при існуючих технологіях). По-друге, деякі пікселі використовуються для інших цілей, наприклад, для калібрування сигналів сенсора. По-третє, на частину пікселів по краях світло не потрапляє. Ці пікселі допомагають визначити фоновий шум, який потім буде відніматися з сигналів активних пікселів.

Оптичний формат (Optical format). Оптичний формат - це розмір діагоналі активної області матриці фотоелементів в дюймах і приймає значення: 1", 2/3", 1/2", 1/3", 1/4". Матриці великого формату 1", 2/3" практично перестали випускатися, оскільки камери на їх основі виходять дуже громіздкими і дорогими. Останні моделі ПЗС - матриць фірми "Sony" мають формат 1/4". На основі таких матриць деякі фірми випускають надмініатюрні камери. Але чим менший розмір матриці, тим менша чутливість (через малу площу пікселів) і при цьому ж вноситься більший рівень шумів, погіршуючи якість зображення. Розмір матриці важливий при визначенні кута огляду камери. З однаковими об'єктивами камера на основі матриці 1/2" має більший кут огляду, ніж камера з матрицею 1/3".

Чутливість (Sensitivity). Під чутливістю розуміється відношення величини електричного сигналу, що формується датчиком, до рівня його освітленості в даний момент. Величина електричного сигналу часто представляється у вольтах, а освітленість в лк/сек. Для кольорових датчиків зображення значення чутливості вказується окремо для різних довжин хвиль (монохроматична чутливість до потоку випромінювання шириною 1 нм). При обчисленні чутливості кожен виробник використовує свою власну методику, тому порівняння за цим параметром продукції різних вендорів часто є некоректним.

Квантова ефективність (Quantum Efficiency). Це відношення числа зареєстрованих фотонів до їх загального числа, що потрапило на світлочутливу область матриці. Цей параметр має дуже високе значення для ССД-датчиків - у кращих зразків він досягає 95%. Для порівняння, квантова ефективність людського ока складає близько 1%, а високоякісних фотоемульсій не більше 3%.

Динамічний діапазон (Dynamic Range). Динамічний діапазон - це відношення максимального вихідного сигналу датчика до його власного рівня шуму. Цей параметр вказується, як правило, в дБ. Людське око має дуже великий динамічний діапазон - близько 200 дБ. Жоден штучний прилад не має такого високого значення цього параметра.

Відношення сигнал/шум (S/N ratio). Під відношенням сигнал/шум розуміється величина, рівна відношенню корисного відеосигналу до рівня шуму, виражена в дБ. Прийнятним відношенням сигнал/шум вважається величина не менше 50 дБ.[11].

Досягнення

Сьогодні ПЗС є спеціалізованими чіпами для захоплення зображення. Вони випускаються і активно використовуються компаніями Nikon,

Canon, Sony, Fuji, Kodak, Matsushita, Philips, Sumsung, Sharp, E2V і багатьма іншими. У Росії ПЗЗ-матриці сьогодні розробляє і випускає ЗАТ "НПП "ЭЛАР"", Санкт -Петербург.

У табл. 1 приведені параметри ПЗЗ матриць провідних компаній, які застосовуються в сучасній техніці.

Компанії "ЭЛАР" вдалося досягти значного прогресу в технології виготовлення ПЗЗ і в області розробки нових типів матричних фотоприймачів. Їхні ПЗЗ успішно працюють у складі зоряних датчиків систем астроорієнтації і астронавігації штучних супутників Землі і космічних станцій (ПЗЗ типу ELCM 1078P), в системах наземної і космічної астрономії (проекти "Ямал - 100, - 200, - 300", "Метеор-м", "Спектр"). На їх основі випускаються прецизійні малокадрові цифрові камери S1C, S2C і S3C, які широко застосовуються в астрономії, фізичному експерименті, біологічних дослідженнях і медицині (системи рентгенівської діагностики, флуоресцент-

Таблиця 1

Фірма	Матриця ПЗЗ	Формат	Кількість пікселів, Мп	Кільк. ефективних пікселів	Розмір пікселя, мкм ²	Кільк. кадрів за секунду	Макс. тактова частота, МГц	Рік	Джерело
Sony	ICX483	1/ 1.8"	10.9	3,900x2,616	6.05x6.05	5.57	25	2006	[12]
	ICX652	1/1.7"	13.9	4,272x3,204	1.75x1.75	1.7	38	2008	[13]
	ICX685	1/1.7"	10.4	3,684x2,760	2.03x2.03	2.052	38	2009	[14]
Kodak	KAF-16801	36.88мм x 36.88мм	16	4096 x 4096	9x9	0.4	10	2008	[15]
	KAF-50100	36мм x 48мм	50	8208 x 6164	6x6	0.6	18	2010	[16]
Sharp	RJ23Y3BA0LT	1/2,3"	12	4040 x 3032	1,55x1,55	VGA 30	-	2009	[17]
	RJ23Y3HA0LT	1/2,3"	12	4040 x 3032	1,55x1,55	720p 30	-	2010	[17]
Panasonic	MN39690PL	1/1.72"	12.43	4032 x 3024	1.85x1.85	720p 30	-	2007	[18]
	MN34540PA	1/2.33"	12.7	4112 x 3032	-	720p 30	-	2009	[18]
Fujifilm	SuperCCD EXR	1/2"	12	4000 x 3000	-	720p 24	-	2009	[19]

ної мікроскопії), криміналістиці, екологічному моніторингу і багатьох інших областях. ПЗЗ типу ELCM 1079P з прецизійною установкою кристала в корпус був спеціально розроблений для використання в технічних системах надвеликого 6-метрового телескопа Південно-Європейської Обсерваторії (Проект ESO - VLT). [20].

Компанія Eastman Kodak представила технологію четвертого покоління TRUESENSE, призначену для створення повноформатних ПЗЗ-датчиків з розміром пікселя 6 мкм для професійної фотоапаратури. Роздільна здатність першого, реалізованого за цією технологією матричного ПЗЗ-датчика KAF-50100, складає 50Мп (8176×6132 пікселів). Розмір датчика - 48×36мм, розмір пікселя - 6 мкм, що на 28% менше розміру пікселя датчиків попереднього покоління. Незважаючи на такий розмір пікселя, основні характеристики датчика не змінилися порівняно з попередніми пристроями [21].

Компанія Fujifilm удосконалила технологію отримання високоякісних фотографій з використанням платформи Super CCD Sensor, яка дозволяє отримувати високу роздільну здатність і широкий динамічний діапазон. Остання розробка компанії - датчик Super CCD EXR, або датчик "три в одному". Він названий так, оскільки поєднує три характеристики, що досі вважалися несумісними, - високу роздільну здатність, високу чутливість і широкий динамічний діапазон. У колірних фільтрах пікселі розміщені таким чином, що два сусідніх мають однаковий колір. Таке рішення дозволяє збільшити чутливість в два рази в порівнянні з сучасними матрицями такого типу. Для забезпечення широкого динамічного діапазону Fujifilm застосувала технологію Dual Capture Technology. При її розробці виробник поєднав в собі високочутливі S-пікселі і менш чутливі R-пікселі. Об'єднуючи інформацію з обох типів пікселів, Super CCD EXR надає можливість отримати розширений динамічний діапазон. Нове компонування пікселів і новий колірний фільтр у поєднанні з іншими фірмовими технологіями дозволили досягти високої роздільної здатності (12 Мп), не жертвуючи при цьому якістю зображення [22].

Super HAD CCD - версія високоефективного CCD HAD (Hole - Accumulation Diode) сенсора зі значно поліпшеною чутливістю за допомогою впровадження нової напівпровідникової технології, розробленою корпорацією Sony. Досягнуто збільшення кількості пікселів і зменшення розмірів CCD, що привело до зменшення чутливості. Для вирішення цієї проблеми були встановлені мікролінзи на кожен піксель для фокусування світла. Технологія "Super HAD CCD" дозволяє досягати оптимальних форм вбудованих мікролінз для того, щоб зробити мінімальні проміжки між мікролінзами, і таким чином звести до мінімуму втрати відбитого світла[23].

Останнім досягненням фірми є технологія Super HAD CCD II. За цією технологією створена матриця, роздільна здатність якої сягає 34.8 мегапікселей, завдяки чому досягнута ще більша чутливість, збалансованість спектральних характеристик чутливості, що призводять до зменшення кольорового шуму[24].

Області застосування

Сучасні ПЗЗ-датчики мають високі характеристики, малу потужність

споживання, малі габарити. Вони широко використовуються в системах масового виробництва (стільникових телефонах, цифрових фотоапаратах) і системах, де вимагаються високі характеристики сенсора (у професійній фотоапаратурі, науковому, медичному, військовому т.ін. устаткуванні).

Широке поширення знаходять лінійки ПЗЗ для зчитування одновимірних зображень (наприклад, штрих-коди), в системах, де є механічна розгортка по одній координаті. Прості приклади - телефакс і сканер. Менш очевидні застосування - системи спостереження за землею поверхнею з космічних апаратів або літаків, де використовується рух самого апарату відносно Землі.

Використовують ПЗЗ пристрої для спостереження за космічними тілами. Зокрема компанія E2V виготовляє ПЗЗ для космічних апаратів NASA [25]. Виробники такі як Kodak, Sony і E2V створюють датчики зображення з різноманітними специфічними характеристиками для застосування від мікроскопії до зчитуючих генних чипів [26].

Актуальним напрямком вважаються камери на базі швидкодіючих сенсорів зі швидкістю зйомки від 500 і більше кадрів в секунду (наприклад, сенсори Readlake [27]). Рішення на базі цих систем дозволяють відслідковувати і аналізувати динаміку швидкоплинних процесів.

Реальною альтернативою ПЗЗ є КМОН датчики (комплементарні метал-оксидні-напівпровідникові датчики) зображення, що поєднують на одному кристалі світлочутливу матрицю і повну обробку аналогового сигналу (включаючи аналогово-цифровий перетворювач), наслідком чого є простота застосування та низька вартість розробки і виробництва різних відеосистем. Датчики цього типу безперервно удосконалюються і вже витісняють ПЗЗ у різних областях: системи відеонагляду/безпеки, медичні пристрої, системи технічного зору тощо. Проте сучасні ПЗЗ матриці володіють більш високими характеристиками і тому завжди будуть використовуватися там, де тільки вони зможуть забезпечити необхідну якість зображення.

Література

1. Пресс. Ф.П. Фоточувствительные приборы с зарядовой связью. – М.: Радио и связь, 1991. – 131 с. ISBN 5-256-00855-2.
2. Сторінка премії Ч. Старка на сайті: <http://www.nae.edu/Awards/DraperPrize.aspx>
3. Неизвестный С.И., Никулин О.Ю. Приборы с зарядовой связью. Устройство и основные принципы работы // Специальная Техника. - №4. - 1999.
4. Bayer V. E. US Patent 3971065. Color imaging array. 1976.
5. Retired Kodak Researcher Bryce Bayer Honored For Invention Enabling Color in Digital Imaging // M2PressWIRE. - 11/18/2009.
6. Kodak Truesense color filter improves on standard Bayer pattern // Laser Focus World.- Jan2010.
7. "Sony press release" : www.sony.net/SonyInfo/News/Press/200307/03-029E/.
8. Merrill R.B. US Patent 5965875. Color separation in an active pixel cell imaging array using a triple-well structure. 1999.
9. Рахманов С. Выбор видеокамеры в 2010 году // Студия "УниФильм". - 2010. www.unifilm.ru.
10. Джакония В.Е. Телевидение. – М.: Радио и связь, 2004. – 616с.

11. Юровских Д.. Твердотельные датчики изображения. www.rlocman.ru/shem/shem-cache.html?di=18768.
12. Sony Corporation, - ICX483AQA. Data Sheet. 2006.
13. Sony Corporation, - ICX652CQZ. Data Sheet. 2008.
14. Sony Corporation, - ICX685CQZ. Data Sheet. 2009.
15. Eastman Kodak Company, - KAF-16801. Data Sheet. 2008.
16. Eastman Kodak Company, - KAF-50100. Data Sheet. 2010.
17. Sharp Corporation. Electronic components. - January 2010. – P. 16 - 17.
18. Panasonic Corporation. CCD Image Sensor. 13th Edition. - March 2009. – P. 3 – 6.
19. “Super CCD EXR - New Standards in Picture Quality”:
www.fujifilm.com/products/digital_cameras/exr/.
20. Вишневецкий Г.И., Коссов В.Г. Разработки и производство ФПЗС и цифровых камер на их основе // Научно-технический интернет-журнал «ТелефотоТехника». - 2008. www.telephototech.ru/kat_podr.php?stid=13&st_gr_id=2.
21. Kodak Achieves New Breakthrough in Imaging Technology World's First 50 Megapixel CCD Sensor Sets New Standard for Professional Photographers // M2PressWIRE. - Jul2008.
22. Будик А. Fujifilm Super CDD EXR: 12-Мп сенсор нового поколения. - 2008. www.3dnews.ru/news/fujifilm_super_cdd_exr_sensor_novogo_pokoleniya.
23. Что такое камера CCD с Super HAD? // KT&C Co. Dec 2008. www.ktnc.co.kr/russian/viewtopic.php?t=402&sid=d6002e8b90a60d999eae7ee8c58789b0
24. New Sony full frame sensor CCD SuperHAD II with 34.8MP // [Photo Rumors](http://PhotoRumors.com). – September 2009.
www.photorumors.com/2009/09/13/new-sony-full-frame-sensor-ccd-superhad-ii-with-34-8mp/
25. CCD image sensors from e2v launch aboard on NASA Kepler star-monitoring spacecraft // MILITARY & AEROSPACE ELECTRONIC. - September 2009.
26. Stephen Marcus, Jeff Grant. Advances in CCD technology target specific applications // Laser Focus World. – Dec 2002.
27. <http://www.redlake.ru/>.

Неуймін О.С., Дяченко С.М. ПЗЗ-матриці. Розглянуто принцип дії, основні параметри, області застосування ПЗЗ-матриць та досягнення провідних компаній у покращенні їх характеристик. Описано існуючі на сьогодні методи отримання кольорового зображення. Приведено таблицю параметрів сучасних датчиків зображення, що використовуються в сучасній техніці

Ключові слова: ПЗЗ-матриця, датчик зображення.

Неуймин А.С., Дяченко С.М. ПЗС-матрицы. Рассмотрен принцип действия, основные параметры, области применения ПЗС-матриц и достижения ведущих компаний в улучшении их характеристик. Описаны существующие на сегодня методы получения цветного изображения. Приведено таблицю параметров современных датчиков изображения, используемые в современной технике.

Ключевые слова: ПЗС-матрица, датчик изображения.

Neuimin O.S., Dyachenko S.M. CCD sensors. The principle of action, the basic parameters, the application CCD and achievements of the leading companies in their improved performance are considered. Methods of color image acquisition existing today are described. The table of parameters of modern image sensors which are used in modern technics are made

Key words: CCD, image sensor.