

Повышение эффективности работы сепаратора алмазов за счёт цифровой обработки сигналов

Евгений Владимиров, Леонид Казаков,
Наталья Колосова (Санкт-Петербург)

Предложен метод повышения эффективности рентгенолюминесцентной селекции алмазов от других люминесцирующих минералов в сепараторах алмазов на основе цифровой автокорреляционной обработки. Данный метод реализован в виде программируемого аналого-цифрового блока регистрации, сопряжённого с персональным компьютером.

ВВЕДЕНИЕ

Метод рентгенолюминесцентного обогащения широко применяется в сепараторах алмазов, работающих на российских и зарубежных предприятиях. Физические основы метода базируются на способности различных минералов по-разному люминесцировать под воздействием рентгеновского излучения. Используя эти различия, можно отделять алмазы от других люминесцирующих минералов при обогащении алмазосодержащих руд. Для этого применяется рентгенолюминесцентный сепаратор, структурная схема которого представлена на рис. 1. Сепаратор состоит из устройства точной подачи материала, источника возбуждающего рентгеновского излучения ИРИ, устройства регистрации сигнала люминесценции, устройства обработки сигнала люминесценции и устройства отделения

алмазов от потока материала. Чтобы выявить различия в люминесцирующих минералах, сигналы люминесценции в сепараторе регистрируют с помощью фотоэлектронного умножителя ФЭУ. Для повышения производительности используется до восьми независимых ФЭУ, оформленных в виде фотоприёмных устройств ФПУ, куда также входят управляемый источник высоковольтного питания и предварительный усилитель. В сепараторах могут использоваться режимы как непрерывного [1], так и импульсного возбуждения рентгеновским излучением. Поскольку в большинстве типов сепараторов для улучшения качества обогащения используется импульсное излучение, в дальнейшем будет идти речь только об этом режиме работы. В этом режиме после каждого возбуждающего импульса рентгеновского излучения

следует интервал времени, в течение которого производится приём, обработка сигнала люминесценции, выявление отличительных признаков, по которым принимается решение об отделении или не отделении минерала из потока материала.

АМПЛИТУДНО-ВРЕМЕННОЙ МЕТОД СЕЛЕКЦИИ АЛМАЗОВ С ЧАСТИЧНЫМ ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РАЗЛИЧИЯ СИГНАЛОВ ЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ

Типичный вид сигнала люминесценции на выходе ФПУ показан на рис. 2.

Можно выделить два интервала, на которых сигнал имеет разные свойства: во время действия импульса возбуждения и после окончания этого импульса. На первом интервале $0 < t < t_{и}$ сигнал люминесценции описывается моделью:

$$u_1 = U_B + U_{БК} + A_{МК}(1 - \exp(-t/\tau)), (1)$$

где U_B – амплитуда люминесценции воздуха,

$U_{БК}$ – амплитуда «быстрой» компоненты люминесценции (БК),

$A_{МК}$ – амплитуда «медленной» компоненты люминесценции (МК),

τ – постоянная времени МК.

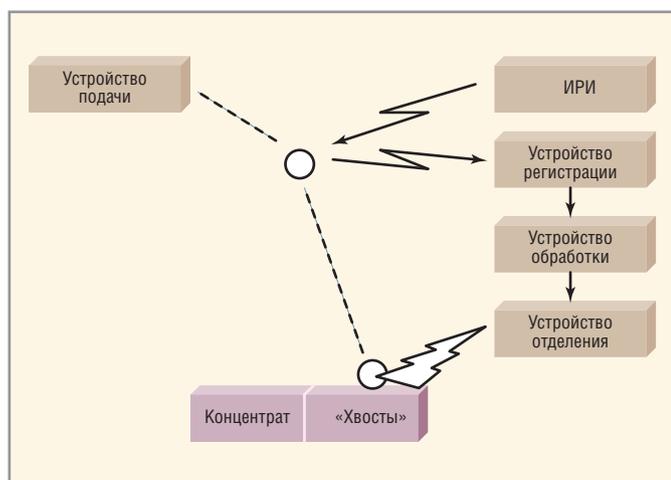


Рис. 1. Структурная схема сепаратора

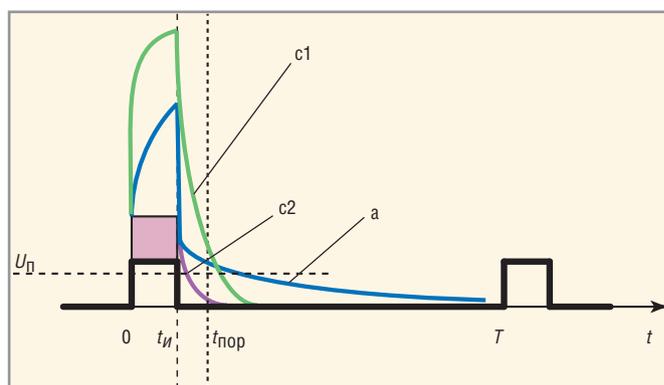


Рис. 2. Типичный вид сигнала люминесценции на выходе ФПУ
а – огибающая сигнала люминесценции алмаза,
с1 – огибающая малоинтенсивной люминесценции циркона,
с2 – то же для «яркого» циркона, $U_п$ – напряжение порога

В интервале $t_{н} < t < T$ модель сигнала люминесценции представляется как:

$$u_2 = U_{\text{макс}} \exp(-t/\tau) + U_{\text{ш}}, \quad (2)$$

где $U_{\text{макс}}$ – максимальное значение МК при $t = t_{н}$,

$U_{\text{ш}}$ – амплитуда шумов.

Что касается постоянной времени τ , то предполагается, что в (1) и (2) её значение одинаково.

В большинстве сепараторов [2] в качестве отличительного признака используется значение медленной компоненты затухания люминесценции. При этом предполагается, затухание люминесценции алмаза происходит дольше, чем у большинства сопутствующих люминесцирующих минералов. Структурная схема обработки сигнала люминесценции, использующая этот признак, приведена на рис. 3.

На схеме показан аналоговый ключ DA1, подключающий (в отсутствие импульса возбуждения) сигнал люминесценции минерала на первый вход компаратора DA2, на второй вход которого подано постоянное напряжение – «порог разделения», определяющий границу между алмазом и сопутствующим минералом. От переднего фронта импульса возбуждения запускается ждущий мультивибратор DD1, формирующий задержку на затухание люминесценции. Выход мультивибратора подключен на первый вход схемы «И» DD2, на второй вход которой подключен выход компаратора DA2. Сигнал на выходе DD2 соответствует условиям: интенсивность люминесценции превышает амплитудный порог $U_{\text{пор}}$, время затухания превышает пороговую длительность $t_{\text{пор}}$. Этот режим регистрации условно назван «пороговым». Используя приведённую выше модель (2), условие обнаружения полезного минерала для «порогового» режима можно записать:

$$u_2(t_{н} + t_{\text{пор}}) > U_{\text{пор}}, \quad (3)$$

где $t_{\text{пор}}$ – длительность задержки (отсчитывается от заднего фронта импульса возбуждения), при котором производится сравнение сигнала с порогом $U_{\text{пор}}$.

Данный амплитудно-временной способ разделения прост в реализации, но имеет существенный недостаток, который можно увидеть, вернувшись к рис. 2: не удастся «отличить» относительно интенсивный, но

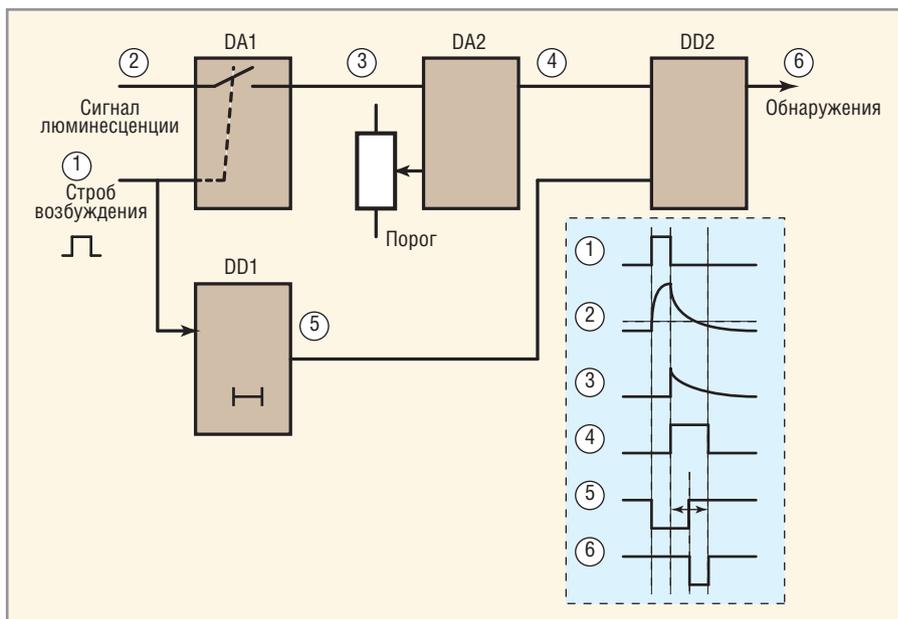


Рис. 3. Схема обработки сигнала люминесценции, где в качестве разделительного признака используется значение медленной компоненты затухания люминесценции

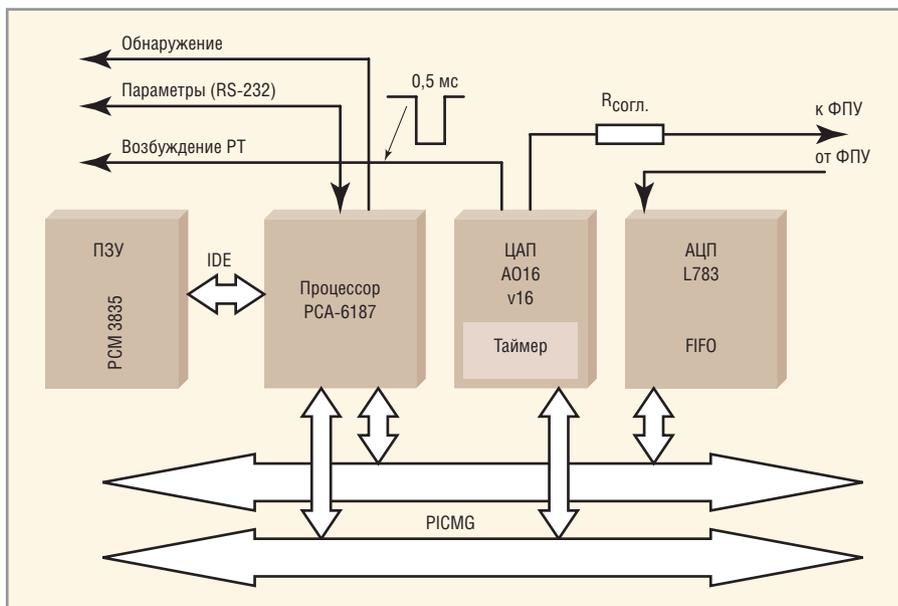


Рис. 4. Устройство цифровой обработки сигнала люминесценции с аналого-цифровым преобразованием

быстро затухающий сигнал (с) от относительно слабого (а) медленно затухающего сигнала.

АВТОКОРРЕЛЯЦИОННЫЙ СПОСОБ СЕЛЕКЦИИ АЛМАЗОВ С ПОЛНЫМ ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РАЗЛИЧИЯ СИГНАЛОВ ЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ

Для преодоления указанного недостатка был предложен способ более полного учёта как быстрой, так и медленной компонент (БК и МК) сигнала люминесценции, а также используется оценка распределения мощности люминесценции между компонентами [5]. Этот метод получил условное

наименование «селективного» и был реализован в цифровом устройстве, структурная схема которого приведена на рис. 4. Устройство построено на базе промышленного компьютера, содержащего в своём составе процессорную плату с ОЗУ, модуль программной памяти с флэш-диск, быстрый многоканальный АЦП и ЦАП.

Устройство работает в реальном масштабе времени и производит следующие операции (рис. 5):

- генерацию строба возбуждения и аналого-цифрового преобразования (АЦП);
- накопление цифрового массива, отображающего сигнал на некото-

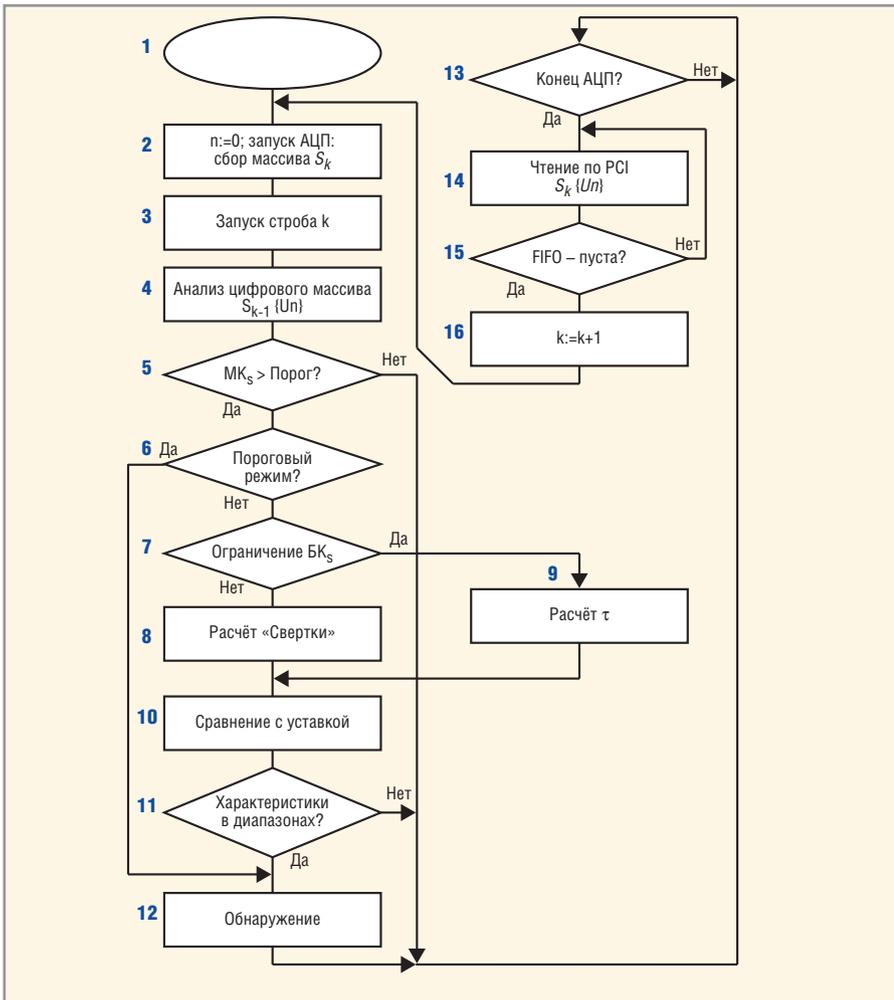


Рис. 5. Алгоритм расчёта критериев разделения

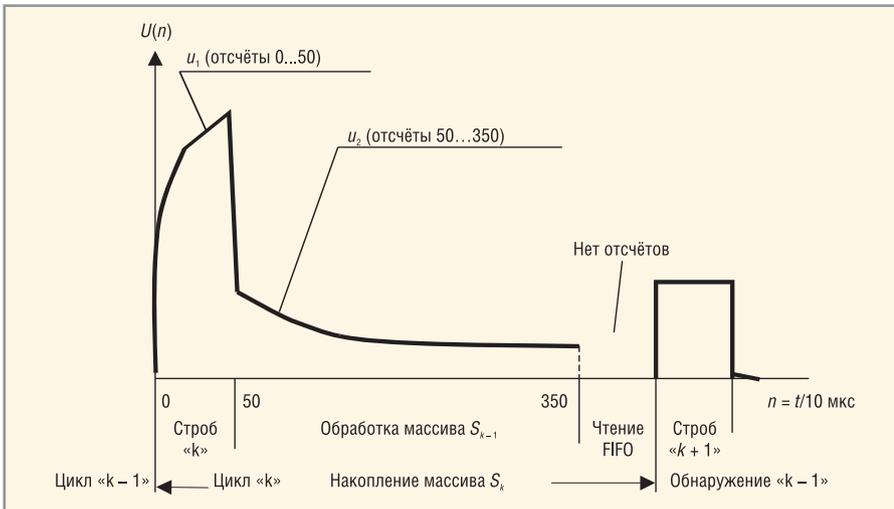


Рис. 6. Диаграмма, поясняющая чередование стадий сбора и обработки сигнала в реальном времени

ром интервале (обычно периоде возбуждения);

- чтение массива данных из буферной памяти АЦП (FIFO) в ОЗУ;
- обработку данных и сравнение результатов обработки с заданными пороговыми значениями признаков. Цифровые отсчёты сигнала на интервале (1) и на интервале (2) люминесценции, представленные в виде

цифрового массива, могут быть записаны в следующем виде:

$$S\{n\} = U_1\{n\}_{0 < n < 50} + U_2\{n\}_{50 < n < 350}, \quad (4)$$

где $U_1\{n\}$ и $U_2\{n\}$ – цифровые массивы, представляющие сигнал u_1 и u_2 .

Интервал между отсчётом $n = 350$ и концом периода T не используется. В этом интервале осуществляется чте-

ние и передача принятого массива $S_k\{n\}$ из FIFO АЦП в ОЗУ по шине PCI. Индекс k указывает на циклический характер формирования, передачи и обработки массивов. Объём массива в каждом k -ом цикле составляет 350 двухбайтных слов на каждый канал регистрации (канал АЦП). При восьми каналах в сепараторе, таким образом, массив составит 5600 слов. Блок-схема алгоритма обработки приведена на рис. 5. На рис. 6 приведена диаграмма, поясняющая чередование стадий сбора и обработки сигнала в реальном масштабе времени. Предполагается, что до начала обработки заданы как способ селекции («пороговый» или «селективный»), так и параметры признаков селекции. Предполагается также, что имеется цифровой массив $S_{k-1}\{n\}$, собранный в течение предшествующего $(k-1)$ -го периода возбуждения. Массив U_n содержит n членов, следующих с интервалом времени в 10 мкс. Для определённости примем, как указывалось выше, $n = 350$.

Цикл (см. рис. 5) начинается (2) с запуска АЦП. Выполняется накопление элементов массива, начиная с $n = 0$. Запускается строб возбуждения (3) k -цикла (завершение строба производится в «прерывании» от таймера через 0,5 мс). Одновременно со сбором массива $S_k\{n\}$ производится обработка массива $S_{k-1}\{n\}$, сформированного в предыдущем цикле (периоде) возбуждения. Обработка массива $S_k\{n\}$ выполняется в цикле $(k+1)$. Обработка начинается (4) с анализа цифрового массива $S_{k-1}\{n\}$. Если при анализе (5) выявляется, что значение амплитуды МК превышает «Порог» (ветвь «да»), обработка продолжается, в противном случае («нет») программа переходит на (13) – проверку завершения сбора массива k -цикла.

Продолжение обработки включает в себя:

- проверку заданного режима (6); если задан «пороговый», то следует переход на (12) – «обнаружение» (импульс обнаружения формируется одновременно с новым «стробом»),
- если задан «селективный», то выполняется расчёт характеристик, отражающих обе компоненты люминесценции.

В качестве функции, формирующей признак различения сигналов люминесценции, выбрана автокорреляционная функция АКФ [3]. На-

помним, что эта функция определяется [4, 5] как интеграл от произведения функции сигнала $f(t)$ на её сдвинутую копию $f(t - t_{CB})$:

$$AKФ = \int_0^T f(t)f(t - t_{CB})dt, \quad (5)$$

где t_{CB} – параметр АКФ – «сдвиг» копии во времени.

Интеграл берётся в области определения функции ($0 < t < T$), но реально эта область ограничивается промежутком, где существует сигнал. Для исключения влияния на АКФ амплитуды сигнала производим расчёт нормированной автокорреляционной функции НАКФ. Для сохранения размерности АКФ нормируется (делится) на интеграл в том же интервале от квадрата функции сигнала $f^2(t)$.

Для цифровых отсчётов интегрирование в формуле (5) заменяется суммой. В результате чего получаем выражение для НКФ:

$$НКФ = \frac{\sum_{n=0}^{n=350} \{U_n(n - n_{CB})U_n(n)\}}{\sum_{n=0}^{n=350} U_n(n)U_n(n)}. \quad (6)$$

Здесь $n_{CB} = T_{сверт.}/10$,

$U_n(n)$ – массив цифровых отсчётов сигнала.

При дальнейшем анализе сигнала по алгоритму рис. 5 необходим переход (7) проверки амплитудного ограничения сигнала (в первую очередь оно выявляется в области БК), так как при ограничении сигнала НКФ искажается и использовать этот критерий для различения нельзя. Для повышения селективности целесообразно выполнить операцию определения постоянной времени – затухания люминесценции МК (9). Параметр τ – постоянная времени – вычисляется путём поиска экспоненты, максимально приближенной к огибающей массива $S_{(k-1)}\{U_n\}$. Условие такого поиска [6] – минимальное среднеквадратичное отклонение искомой экспоненты от огибающей цифрового массива:

$$\sum_{n=60}^{n=350} \{U_n - U_m \exp(-n\Delta t) / \tau\}^2 = \min. \quad (7)$$

Здесь:

U_n – значение сигнала на n -отсчёте АЦП,

τ – постоянная времени искомой экспоненты,

Δt – период дискретизации АЦП (10 мкс).

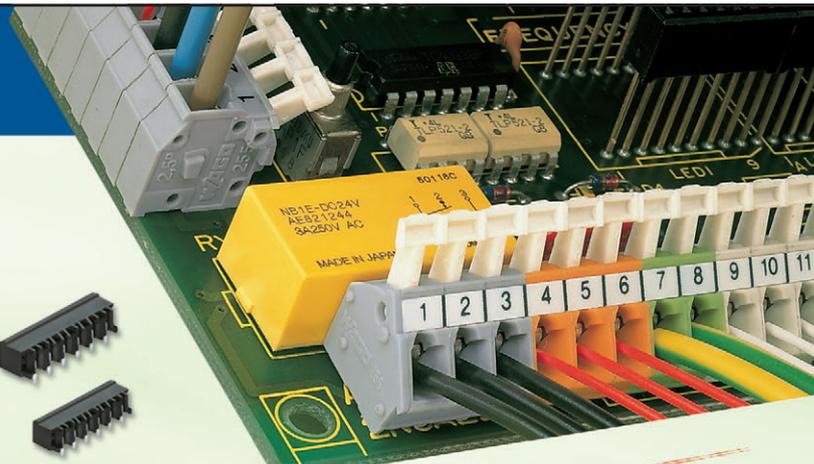
Поскольку операция вычисления значения НКФ и сравнение его с уставкой – заданным диапазоном разделения – ведётся в реальном времени, вычисления производятся для одного конкретного значения параметра n_{CB} . Выбор этого значения поясняется на рис. 7, где на основной форме приведены огибающие массивов двух сигналов: алмаза (красная кривая) и сопутствующего минерала (синяя). На вкладке приведены соответствующие этим сигналам НКФ в зависимости от параметра $T_{сверт.}$. Анализ последнего графика показывает, что кривые НКФ алмаза и сопутствующего минерала максимально отстоят друг от друга в области значений параметра, соответствующих $n_{CB} = 60 \dots 100$. Именно в этом диапазоне будет обеспечено наилучшее разделение полезного минерала – алмаза – от сопутствующих, мешающих минералов.

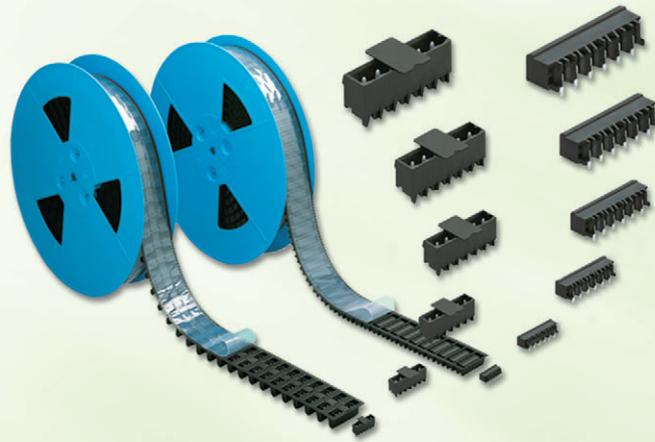
При рассмотрении алгоритма обработки сигналов люминесценции

Клеммы и соединители для печатных плат



WAGO
INNOVATIVE CONNECTIONS









ОФИЦИАЛЬНЫЙ ДИСТРИБЬЮТОР В РОССИИ И СТРАНАХ СНГ

МОСКВА Телефон: (495) 234-0636 • Факс: (495) 234-0640 • E-mail: info@prosoft.ru • Web: www.prosoft.ru
 С.-ПЕТЕРБУРГ Телефон: (812) 448-0444 • Факс: (812) 448-0339 • E-mail: info@spb.prosoft.ru • Web: www.prosoft.ru
 ЕКАТЕРИНБУРГ Телефон: (343) 376-2820 • Факс: (343) 376-2830 • E-mail: info@prosoftsystems.ru • Web: www.prosoftsystems.ru
 САМАРА Телефон: (846) 277-9166 • Факс: (846) 277-9165 • E-mail: info@samara.prosoft.ru • Web: www.prosoft.ru
 НОВОСИБИРСК Телефон: (383) 202-0960; 335-7001; 335-7002 • E-mail: info@nsk.prosoft.ru • Web: www.prosoft.ru
 КИЕВ Телефон: (+380-44) 206-2343/2478/2496 • Факс: (+380-44) 206-2343 • E-mail: info@prosoft-ua.com • Web: www.prosoft.ru
 УФА Телефон: (347) 2925-216; 2925-217 • Факс: (347) 2925-218 • E-mail: info@ufa.prosoft.ru • Web: www.prosoft.ru

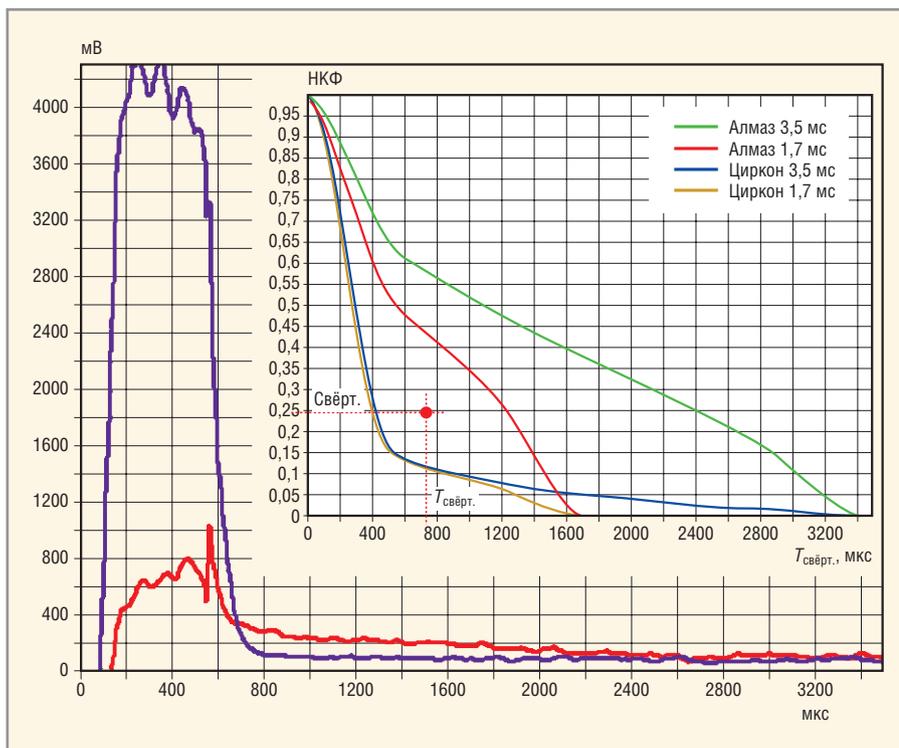


Рис. 7. Временная диаграмма сигналов алмаза и сопутствующего минерала (циркона) и соответствующие этим сигналам НКФ для двух значений времени сбора данных: 3,5 мс и 1,7 мс

не было ничего сказано о мешающих факторах, снижающих эффективность отделения алмазов от остальных минералов. Если обратиться теперь снова к рис. 2 и соответствующей модели сигнала люминесценции в виде выражений (1) и (2), то увидим, что в интервале действия импульса возбуждения $0 < t < t_n$ в измеренные цифровые отсчеты $U(n)$ входит составляющая U_B – амплитуда люминесценции воздуха, а на интервале $t_n < t < T$ в состав $U(n)$ входит составляющая U_{III} – амплитуда шумов, не связанных с люминесцентными свойствами обогащаемого минерала. Очевидно, для того, чтобы рассчитанные значения НКФ и τ адекватно отображали люминесцентные свойства минералов, в процессе расчетов указанные выше составляющие U_B и U_{III} необходимо учесть в расчетных формулах (3), (6) и (7). «Вычитание» люминесценции воздуха из оцениваемой люминесценции материала сводится к вычитанию из значений конкретных реализаций – элементов массива $S_k \{U_n\}_{0 < n < 50}$ среднего в некотором смысле значения сигнала люминесценции воздуха, измеренного по многим массивам. Для этого «подходят» массивы S_m , в которых не наблюдается люминесценции минералов. Такие массивы

характеризуются минимальными значениями сигналов в области отсчетов $0 < n < 50$. Подход к определению среднего значения U_{III} аналогичен. Вариации U_B и U_{III} в конкретных реализациях служат источником погрешности вычисления характеристик по выражениям (6) и (7). Эта погрешность заставляет во избежание потерь ценного продукта – алмаза – расширять границы диапазона селекции и в конечном счете допускать ухудшение селективности отбора, поскольку риск потери алмаза существенно важнее риска выработки ложного сигнала обнаружения.

Предположение, сделанное ранее, о том, что имеется цифровой массив $S_{k-1}\{n\}$, собранный в течение предшествующего $(k-1)$ -го периода возбуждения, характеризует работу устройства с методической задержкой принятия решения, связанной с тем, что после сбора массива данных требуется время на его обработку. Чтобы провести сбор массива данных, его обработку и принятие решения за один период возбуждения люминесценции, необходимо уменьшить время работы АЦП, а освободившееся время использовать на обработку цифровых отсчетов и принятие решения. Однако при этом число отсчетов уменьшится.

Для анализа погрешности, которая в этом случае может возникнуть, было выполнено сравнение двух вариантов обработки: 3,5 мс (350 отсчетов) и 1,7 мс (170 отсчетов) по одним и тем же сигналам, принадлежащим алмазу и циркону. Результаты расчетов показаны на вкладке рис. 7, откуда можно сделать вывод, что зависимость от длины интервала для сигналов с малой постоянной времени затухания МК мала. Напротив, при большой постоянной времени погрешность возрастает: значение функции свертки уменьшается, а значение постоянной времени относительно реально увеличивается. Это потребовало изменения алгоритма и программы функционирования устройства цифровой обработки. Такая программа также была испытана на реальном сепараторе алмазов и показала практически одинаковые результаты по извлечению алмазов по сравнению с первым вариантом.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Применение цифровой обработки сигналов люминесценции при возбуждении импульсным рентгеновским излучением показало возможность привлечения нового селективного признака разделения для обогащения алмазного материала на потоке.

Реализация устройства селекции как составной части сепараторов алмазов в виде программируемого аналого-цифрового блока регистрации, сопряженного с компьютером, позволила осуществлять селекцию алмазов в реальном масштабе времени в течение одного периода импульсов возбуждения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Потапшиков А.К. Цифровая обработка сигналов в рентгенолюминесцентных сепараторах алмазов. Датчики и системы. 2005. № 5.
2. SU 1510185 А. В03В13/06, В07С 5/346, 1996.
3. RU 2 271 254 С2. В07С 5/342, В03В 13/06, 2006.
4. Энциклопедия современной техники. М.: Советская энциклопедия, 1963. Т. 2. С. 124–129.
5. Автокорреляционная функция – Википедия. <http://ru.wikipedia.org/wiki/>.
6. <http://alglib.sources.ru/interpolation/lin-leastsq.php>.

Freescale усиливает позиции на рынке MEMS-систем

Известный американский производитель полупроводникового оборудования компания Freescale Semiconductor ввела в строй новую 200-мм производственную линию по выпуску микроэлектромеханических систем (MEMS) в г. Остин (США). На данный момент компания уже имеет фабрику по производству MEMS-датчиков в г. Сендай (Япония), использующую 150-мм кремниевые пластины. Ожидается, что новое производство усилит позиции компании на рынке сенсорных устройств, ориентированных на использование в составе промышленных, автомобильных и медицинских приложений и продуктов потребительской электроники.

«Потребительская электроника в последнее время резко подстёгивает развитие MEMS-технологий в таких областях, как производство сенсоров ускорения и давления, – утверждает Джин Кристоф Эллой (Jean-Christophe Eloy), аналитик компании Yole Development, занятой исследованием рынка микроэлектромеханических систем. – Мы ожидаем, что общий объём рынка MEMS-систем вырастет с 6 млрд. долл. США в 2006 г. до 9,7 млрд. долл. в 2010, по мере того как все ведущие производители полупроводниковой продукции будут уделять всё больше внимания данному сегменту рынка».

Особенностью новой производственной линии Freescale является её ориентированность на выпуск MEMS-датчиков с малым форм-фактором, благодаря которому компания надеется снизить энергопотребление систем и увеличить экономическую эффективность их использования для производителей.

freescale.com

Результаты и достижения Intel в 2007 году

На днях корпорация Intel обнародовала данные о своей коммерческой деятельности в четвёртом квартале 2007 г. Выручка компании составила 10,7 млрд. долл., операционный доход – 3 млрд. долл., чистый доход – 2,3 млрд. долл., а чистая прибыль на акцию – 38 центов. За 2007 г. операционный доход компании увеличился на 45%.

В 2007 г. оборот Intel достиг 38,3 млрд. долл., операционный доход составил 8,2 млрд. долл., чистый доход – 7 млрд.

долл., а чистая прибыль на акцию – 1,18 долл. Корпорация привлекла более 12 млрд. долл. наличными в результате заключения сделок, выплатила дивиденды наличными в размере 2,6 млрд. долл. и выкупила 111 млн. основных акций на сумму 2,75 млрд. долл.

За этот период поставки микропроцессоров и наборов микросхем Intel достигли рекордного уровня. Корпорация Intel представила 32 микропроцессора, созданные на базе 45-нм технологии производства с использованием диэлектрика high-k на основе гафния и металлического затвора. На международной выставке бытовой электроники корпорация Intel предоставила описание новых недорогих процессоров Intel с низким уровнем энергопотребления, разработанных для создания потребительской электроники, ультрапортативных устройств.

www.3dnews.ru

Matsushita, Hitachi и Canon создали новый ЖК-альянс

Вслед за Sharp и Toshiba, которые недавно договорились о взаимном сотрудничестве в сфере производства ЖК-телевизоров, подобное соглашение подписали три другие японские компании: Matsushita, Hitachi и Canon. Стороны объявили о создании альянса, ключевой задачей которого является дальнейшее развитие ЖК-индустрии и упрочнение рыночных позиций участников объединения.

В рамках новой договорённости компании Canon и Matsushita к концу марта будущего года выкупят по 24,9% акций Hitachi Displays, подразделения Hitachi, которое занимается производством ЖК-панелей малого и среднего размеров для мобильных телефонов, видеокамер и фотоаппаратов. По завершению сделки у Hitachi останется 50,2% акций Hitachi Displays.

Сообщается также, что Canon и Matsushita будут активно развивать производство дисплеев на органических светодиодах (OLED). Безусловно, данное решение кажется целесообразным в свете больших перспектив OLED-дисплеев и их реальных шансов стать альтернативой ЖК-экранам в ряде прикладных задач.

Кроме того, стороны озвучили планы по приобретению корпорацией Matsushita контрольного пакета акций компании IPS Alpha Technology – совместного предприятия по выпуску ЖК-дисплеев,

созданного Toshiba, Hitachi и Matsushita. Были высказаны намерения построить новую ЖК-фабрику при IPS Alpha Technology для удовлетворения растущего спроса на телевизионные панели.

Следует заметить, что серьёзные инвестиции в ЖК-индустрию со стороны Matsushita могут указывать на плавное смещение её интересов от плазменных телевизоров к ЖК-устройствам. До сих пор в эволюции плоскочелюстных телевизоров в сегменте от 40 дюймов и выше японская корпорация отдавала приоритетное положение именно плазменной технологии.

Что касается Hitachi, в продаже акций Hitachi Displays и вступлении в ЖК-альянс руководство компании видит путь к улучшению рентабельности производства панелей. В свою очередь, Canon рассчитывает на то, что подписанное соглашение обеспечит ей стабильный и надёжный канал поставки ЖК-дисплеев для цифровых фотоаппаратов, видеокамер, принтеров, медицинского оборудования.

eetimes.com, techon.nikkeibp.co.jp

Patriot построит в Тайване фабрику по производству памяти DRAM и NAND

Пресс-служба американского разработчика Patriot Memory на днях объявила о намерениях компании в скором будущем построить фабрику по производству чипов DRAM и флэш-памяти NAND на территории Тайваня.

Решение об открытии новых мощностей эксперты связывают с постепенным ростом объёмов производства Patriot. Согласно данным зарубежных информационных источников, на первых порах компания вложит 3,08 млн. долл. в запуск двух производственных линий.

Нужно сказать, что у Patriot есть свой офис в Тайване, однако ввиду особенностей политики компании и рынка большую часть производственных структур компании по изготовлению памяти DRAM и NAND пришлось разместить в компаниях-аутсорсерах. Тем не менее, рост обоих сегментов заставил руководство Patriot задуматься об открытии собственной фабрики по изготовлению чипов памяти, которая, возможно, станет центром деятельности компании в Азиатско-Тихоокеанском регионе.

www.3dnews.ru