

**О ПОВЫШЕНИИ
КОНТРАСТА ЭЛЕКТРОННОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ
ПУТЕМ ОТСЕЧКИ «МЕДЛЕННЫХ» ЭЛЕКТРОНОВ**

В. И. ГОРБУНОВ, Д. И. СВИРЯКИН, К. Б. УМБЛИА, В. В. ЕВСТИГНЕЕВ

Как закономерный результат требований современного технического прогресса в последние годы в нашей стране возникло и стало развиваться новое направление в науке и технике — интроскопия.

Главной целью интроскопии является создание методов и средств, обеспечивающих с помощью проникающих излучений и полей изучение внутренних свойств непрозрачных для обычного видимого света материалов.

Физической основой интроскопии является взаимодействие проникающих излучений или полей с веществом, в котором они распространяются. Взаимодействие это может выражаться как в изменении и варьировании коэффициента поглощения излучений по пути их распространения внутри изучаемого тела, так и в изменении характеристик, связанных соответственно с отражением, рассеянием, дисперсией, поляризацией, дифракцией, комптон-эффектом, эффектом Месбауэра, ядерными реакциями, магнитным резонансом и другими явлениями.

Информационная способность средств интроскопии определяется природой проникающего излучения и механизмом взаимодействия его с веществом контролируемого тела; интенсивностью, спектром, геометрией распределенного потока проникающих излучений; материалом, структурой и размерами исследуемого объекта; скоростью получения и обработки многоэлементной информации; методом регистрации изображений в невидимых потоках проникающих излучений; долей эффективно поглощенной энергии в приемном элементе; типом и параметрами преобразователя и усилителя изображений; способом распознавания образов интроскопической информации.

В качестве агента, способного нести многоэлементную информацию о внутреннем строении непрозрачных тел, могут быть использованы многие виды оптически сформированных или пространственно распределенных потоков проникающих излучений: от гамма-квантов высоких энергий до радиоволн миллиметрового и субмиллиметрового диапазонов, а также некоторые виды корпускулярных излучений.

В последнее время резко возрос интерес к методам просвечивания пучком высокоэнергетических электронов. При просвечивании рентгеновским излучением образцов с малой удельной плотностью не удается получить достаточно высокую контрастную чувствительность, в то время как электронные пучки благодаря особенностям взаимодействия с веществом обеспечивают требуемую для интроскопии чувствительность. Первые эксперименты по просвечиванию изделий пучком быстрых электронов показали, что этот метод является весьма перспективным [1], но для полного использования его возможностей необходима дальней-

шая разработка детекторов пространственно-модулированных электронных потоков, а также систем селекции электронного потока по энергиям и углам рассеяния, т. е. систем изменения функции рассеяния. Схематично простейший электронный интроскоп представлен на рис. 1.

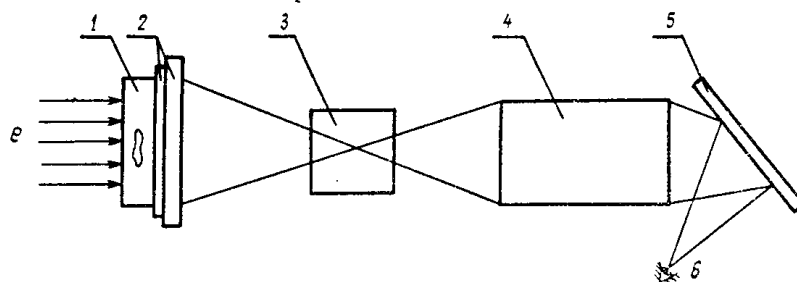


Рис. 1. Схема простейшего электронного интроскопа: 1 — просвечиваемый образец; 2 — слой люминофора на прозрачной подложке; 3 — объектив; 4 — электронно-оптический усилитель яркости; 5 — зеркало; 6 — анализатор изображения.

Относительная чувствительность такого интроскопа определяется соотношением

$$\frac{\delta}{d} = \frac{\Delta S}{S} \cdot \frac{B}{\mu d}, \quad (1)$$

где μ — коэффициент линейного ослабления;
 d — толщина объекта в месте просвечивания;

$\frac{\Delta S}{S}$ — пороговый контраст приемника;

B — фактор накопления излучения, рассеянного в материале контролируемого объекта;

δ — минимальный размер дефекта, обнаруживаемый интроскопом.

Контрастная чувствительность метода в значительной степени зависит от порогового контраста приемника оптического изображения, в данном случае глаза, и улучшение контрастной чувствительности всей системы требует применения способов контрастирования изображений на отдельных этапах получения и передачи видео-информации. Для повышения контрастной чувствительности целесообразно пойти по пути усиления контраста при преобразовании электронного изображения в световое. В общем случае оптический контраст $K_{\text{опт}}$ не равен электронному $K_{\text{э}}$, связь между ними определяется соотношением [2]

$$K_{\text{опт}} = \gamma K_{\text{э}}, \quad (2)$$

где γ — коэффициент контрастности, который характеризует усиление контраста изображения, вносимое преобразователем. Чем больше коэффициент контрастности, тем меньший электронный контраст или меньший перепад толщины контролируемой детали можно различить при тех же условиях наблюдения.

Наиболее распространенные преобразователи электронных потоков в видимый свет — флюороскопические экраны и сцинтилляционные кристаллы преобразуют электронный контраст в оптический почти без искажений. Для этих преобразователей практически $\gamma=1$ и $K_{\text{опт}}=K_{\text{э}}$. Дополнительное усиление контраста изображения внутренней структуры просвечиваемого объекта можно получить, применяя селекцию электронов в пространственно-модулированном пучке по энергиям. Конструкция электростатической системы селекции схематично показана на рис. 2. Тормозящее электрическое поле между сетками S_1 и S_2 , обус-

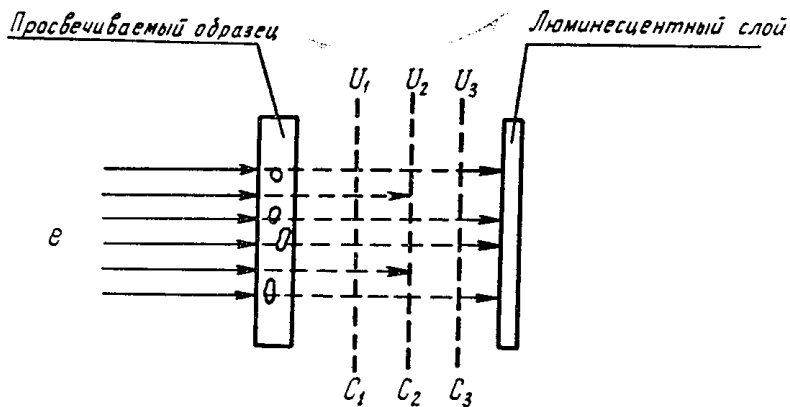


Рис. 2. Схема электростатической системы селекции.

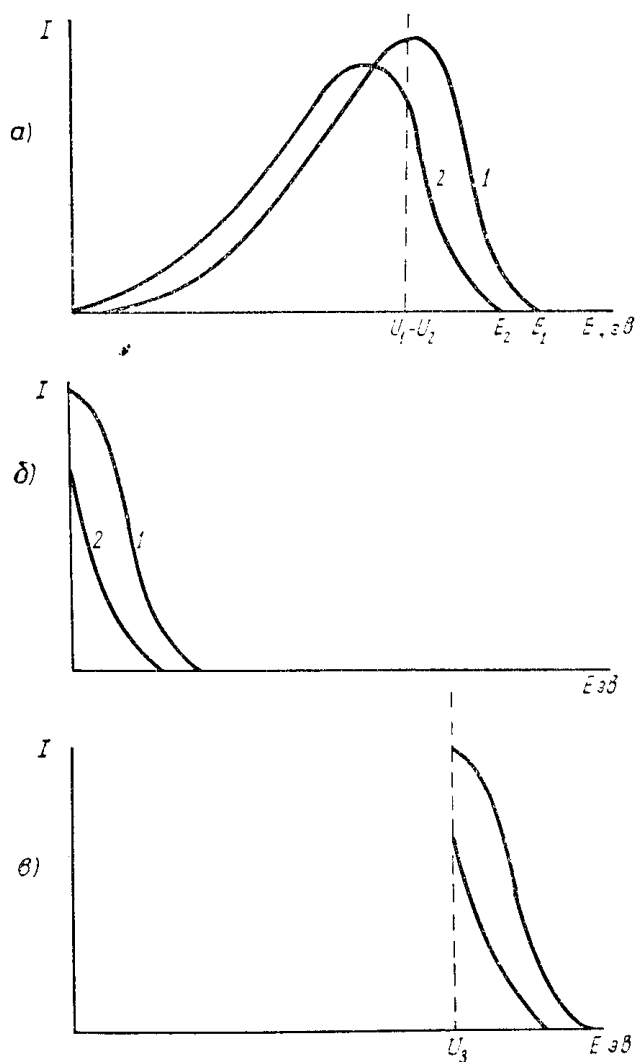


Рис. 3. Иллюстрация принципа действия электронного селектора: а — кривые распределения электронов по энергиям на дефектном (1) и бездефектном (2) участках; б — распределение электронов по энергиям после прохождения тормозящего поля и отсечки электронов с энергией ниже; в — распределение электронов по энергиям после дополнительного ускорения электрическим полем.

ловленное разностью потенциалов $U_1 - U_2$, не пропускает электроны с энергиями меньше $(U_1 - U_2)$.

Рис. 3 иллюстрирует принцип действия электронного селектора. На рис. 3,а представлены примерные кривые распределения электронов по энергиям при выходе из образца на дефектном участке (1) и на бездефектном — (2).

Интеграл плотности энергии выходящего электронного потока на дефектном участке W_d будет определяться площадью, заключенной между кривой (1) и осью E (рис. 3, а). На остальной части образца интеграл плотности энергии выходящего потока W определится площадью между кривой (2) и осью E . Контраст электронного изображения определится соотношением

$$K_3 = \frac{W_d - W}{W}.$$

Анализ кривых распределения электронов по энергиям показывает, что при отсечке медленных электронов разность $W_d - W$ уменьшается, но незначительно, зато уменьшение W весьма существенно. Доведя уровень отсечки до E_2 можно получить изображение дефекта со 100% контрастом, но при этом количество падающих на экран электронов может оказаться недостаточным для формирования четкого, с необходимой для передачи яркостью изображения. Варьируя напряжением U_2 , можно подобрать оптимальный уровень отсечки.

При таком методе фильтрации плотности потока и энергия электронов, падающих на люминесцентный экран, резко уменьшаются (рис. 3, б), следствием чего является снижение яркости экрана. Для повышения яркости между второй S_2 и третьей S_3 сетками приложено ускоряющее электрическое поле, величина которого регулируется подбором напряжения U_3 (рис. 3, в).

Такой принцип контрастирования изображений, получаемых с помощью электронных бетатронных интроскопов [3], достаточно эффективен и прост в реализации.

ЛИТЕРАТУРА

1. В. В. Евстигнеев, Д. И. Свирякин, В. И. Бойко, Ю. Н. Адигеев. Разрешающая способность сцинтилляционного метода интроскопии быстрыми электронами. «Дефектоскопия», 1973, № 1.
2. В. А. Добромыслов, С. В. Румянцев. Радиационная интроскопия. М., Атомиздат, 1972.
3. В. И. Бойко, В. И. Горбунов, В. В. Евстигнеев, Д. И. Свирякин. Бетатронный электронный интроскоп. «Дефектоскопия», 1973, № 6.