

ИЗ ТЕКУЩЕЙ ЛИТЕРАТУРЫ

НОВЫЕ ФОТОЭЛЕМЕНТЫ

Вслед за шагом вперед, заключавшемся в разработке сурьмяно-цезевых фотоэлементов, совсем недавно был сделан еще один крупнейший шаг — на этот раз в области фотоэлементов с запирающими слоями. В конце прошлого года в группе полупроводников Ленинградского физико-технического института, руководимой Ю. П. Мослаковцем, научным сотрудником Б. Т. Коломойцем были разработаны серно-галлиевые фотоэлементы с запирающими слоями, отличающиеся совершенно необыкновенными свойствами.

Особенностями, выдвигающими эти фотоэлементы на первый план, являются их огромная интегральная чувствительность, превышающая чувствительность хороших селеновых фотоэлементов с запирающими слоями в 1—2 десятка раз и могущая достигать $8\,000\text{--}10\,000\ \mu\text{A}/\text{Lm}$, а также характер распределения чувствительности по спектру (рис. 1), которая делает эти фотоэлементы применимыми в той области длин волн, которая была до сих пор недоступна для фотоэлементов с запирающими слоями и представляет значительный технический интерес. В остальном свойства этих фотоэлементов¹ не отличаются существенным образом от свойств других фотоэлементов с запирающими слоями.

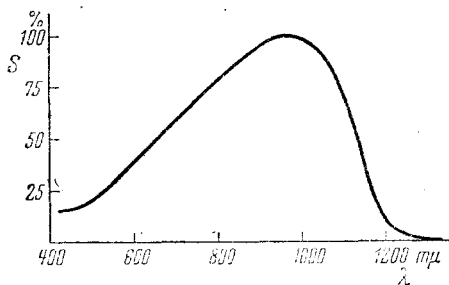


Рис. 1. Спектральная характеристика нового фотоэлемента

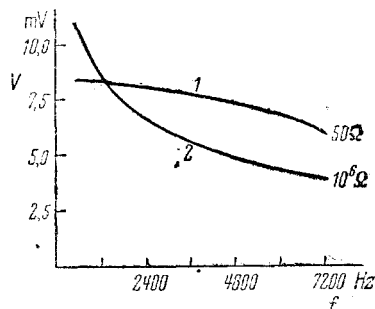


Рис. 2. Частотные характеристики нового фотоэлемента при разных нагрузках

Представляет интерес то обстоятельство, что опыт применения этих фотоэлементов в звуковом кино дал положительные результаты. Новые фотоэлементы дают здесь некоторые существенные преимущества перед обычными фотоэлементами с внешним фотоэффектом и электронными умножителями. Так например, они не дают собственного шума. Частотная характеристика такого фотоэлемента при малых нагрузочных сопротивлениях (рис. 2, кривая 1) достаточно слабо заваливается для того,

чтобы ее можно было с легкостью корректировать усилителем, и воспроизведение звука является вполне удовлетворительным. В случае большой омической нагрузки частотная характеристика значительно ухудшается (кривая 2 рис. 2) вследствие того, что этот фотоэлемент, как и все фотоэлементы с запирающими слоями, обладает большой собственной емкостью, и с ростом внешнего сопротивления постоянная времени принимает большие значения. Поэтому усилители, предназначенные для работы с такими фотоэлементами на значительном диапазоне частот, должны иметь трансформаторный вход.

Не менее замечательной, чем фотоэлементы сами по себе, оказывается история их создания, являющая собой блестящий пример правильного взаимодействия теории и практики. Прежде всего нужно указать, что в этих фотоэлементах имеет место не обычный фотоэффект запирающего слоя, когда совершается переход электронов из полупроводника в металл (что может давать лицевой или тыловой эффект, в зависимости от толщины слоя полупроводника, свойств электродов и поверхности раздела, через которые происходит переход электронов), но новый, до сих пор никогда не наблюдавшийся эффект, названный авторами «положительным фотоэффектом запирающего слоя». При этом эффекте пере-

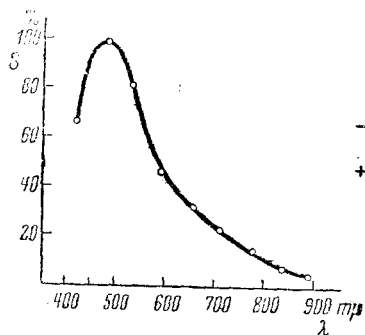


Рис. 3. Спектральная характеристика серно-кадмиевого фотоэлемента при нормальном фотоэффекте запирающего слоя

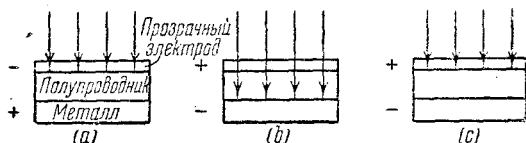


Рис. 4. Полярность фотоэлемента с запирающим слоем при нормальном лицевом (а), тыловом (b) и при положительном тыловом (с) эффекте; стрелками показан падающий свет

ход электронов совершается из металла (прозрачный верхний электрод) в полупроводник.

Помимо положительного, тот же самый полупроводник может давать и нормальный фотоэффект запирающего слоя. В этом случае интегральная чувствительность фотоэлементов велика ($\sim 100 \text{ А.Дж.лм}^{-1}$) и спектральное распределение чувствительности имеет совершенно иной характер (рис. 3).

В процессе разработки новых фотоэлементов, вследствие особенностей принятой технологии, как правило, получались фотоэлементы этого последнего типа. Но однажды был получен фотоэлемент исключительно большой чувствительности $\approx 100 \times \text{А.Дж.лм}^{-1}$. Это был первый фотоэлемент с положительным фотоэффектом. При исследовании оказалось, что полярность его обратна той, которая свойственна нормальному лицевому эффекту (рис. 4). Естественной была мысль, что это происходит вследствие преобладания тылового эффекта над лицевым, хотя это и не вязалось с его высокой чувствительностью — естественней потому, что о существовании «положительного фотоэффекта» ничего не было известно. Но опыт опроверг это предположение: тылового эффекта обнаружено не было. Так, был открыт положительный фотоэффект запирающего слоя.

Таким образом оказалось, что одни и те же материалы в одной и той же комбинации могут вести себя совершенно различным образом. Здесь было чему удивляться и над чем задуматься. Более чем вероятно, что если на помощь не была привлечена теория полупроводников, новые фотоэлементы только умножили бы собой число «чудес технологии» (в мистическом смысле), т. е., более точно, число недодуманных и недоделанных вещей. К счастью, этого не случилось. Теория была использована и она дала то, что может и должна давать верная теория, т. е. она объяснила новый эффект и указала, как нужно поступать, чтобы иметь именно фотоэлементы с положительным эффектом.

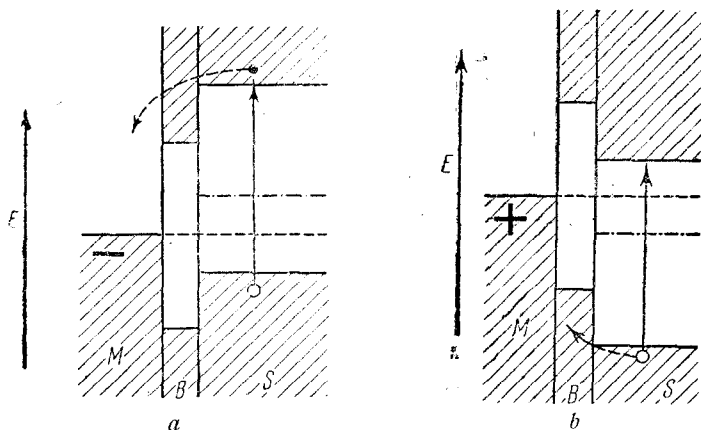


Рис. 5. Энергетическая схема нормального (а) и положительного (б) лицевого фотоэлемента запирающего слоя. M — металл, B — запирающий слой, S — полупроводник; сложный пунктир (---) энергетический уровень примеси; стрелка E — направление возрастания потенциальной энергии электрона; пунктирные стрелки — направление движения электрона (а) и дырки (б)

Как показал Ю. П. Маслаковец, все дело здесь заключалось в характере проводимости полупроводника, которая определяет собой энергетическую структуру фотоэлемента. В условиях существовавшей технологии проводимость получалась дырчатая. Энергетические свойства системы для этого случая изображены на рис. 5а. Электрон, вырванный из полосы занятых уровней и перешедший в зону проводимости, не встречает препятствий к переходу в металл — получается нормальный эффект. В том случае, когда проводимость электронная, действует схема рис. 5б). Электроны, попавшие в зону проводимости, не попадают в металл из-за наличия потенциального барьера, но электроны металла имеют все шансы занять освободившееся в зоне занятых уровней место — получается положительный фотоэффект.

Как только все это было выяснено, стало возможным строить технологично фотоэлементов, такую, которая обеспечивала бы получение проводимости нужного типа. После того как этот этап был закончен, новые фотоэлементы обратились в совершенно несомненную и весьма ценную реальность.

Н. Хлебников, Москва

ЛИТЕРАТУРА

1. Б. Т. Коломиец, Известия Акад. наук СССР, серия физическая, № 5—6, 1938 г.