

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ В ОПТИЧЕСКИХ СЕТЯХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МОДЕРНИЗАЦИИ ФОТОПРИЕМНИКОВ

В данной статье анализируются возможные способы перехвата информации, идущей по оптоволоконным линиям связи и предлагается способ повышения эффективности защиты оптической информации с помощью модернизации фотоприемников (ФП) излучения. В частности, речь идет об использовании ФП с повышенной фоточувствительностью, что позволит регистрировать более слабые сигналы излучения, минимизируя вероятность несанкционированного доступа к передаваемой информации.

Ключевые слова: фотоприемники, оптическая информация, перехват информации, коэффициент отражения, лавинные фотодиоды, фототранзисторы со структурой МДП, МДП фотоварикапы.

1. Анализ эффективности защиты оптической информации.

Известно, что оптическая связь является самым эффективным видом связи с точки зрения защищенности секретной информации. Тем не менее разрабатываются различные способы несанкционированного доступа к оптическим волокнам (ОВ) [1]. Речь идет о фиксировании излучения с боковой поверхности ОВ, а также об излучении, попадающем в оболочку, из сердцевины (поляритонный эффект).

Способы перехвата информации, идущей по ОВ, делят на четыре группы.

1. Способы, основанные на регистрации излучения с боковой поверхности ОВ без вспомогательных средств (пассивные).

2. Способы, основанные на регистрации излучения, выводимого через боковую поверхность ОВ с помощью специальных средств (активные).

3. Способы, основанные на регистрации излучения, выводимого через боковую поверхность ОВ с помощью специальных средств, с последующим формированием и выводом в поверхности оптического волокна излучения, компенсирующего потери мощности при выводе излучения (компенсационные).

4. Способы, основанные на регистрации оптического сигнала, проникающего согласно теории Максвелла из сердцевины в оболочку ОВ.

В последнем случае даже при условии соблюдения, так называемого полного внутреннего отражения часть сигнала выходит за пределы сердцевины

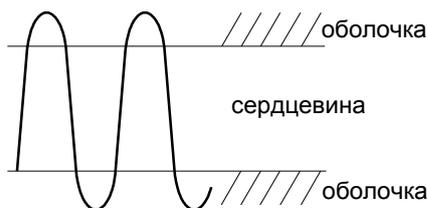


Рис. 1. Схема проникновения сигнала в оболочку

Для несанкционированной регистрации сигнала на изгибах волокна можно использовать известный определитель наличия и направления оптического сигнала в волокне (Photom 591). Прибор позволяет идентифицировать сигнал в диапазоне длин волн 900-1650 нм, определять частоты модуляции сигнала 270 Гц, 1 кГц и 2 кГц. При наличии оптического сигнала, помимо индикации на экране, может подаваться звуковой сигнал.

При средних потерях в прижимной головке 0,1 дБ для $\lambda=1310$ нм и 2,0 дБ для $\lambda=1550$ нм и 1650 нм минимальные уровни детектируемого сигнала в волокне диаметром 250 мкм соответственно равны -26 и -33 дБм. В зависимости от типа волокна (волокно 250 мкм или ленточное волокно, волокно в оболочке 0,9 мм, соединительный кабель 2,0 мм, соединительный кабель 3,0 мм) применяются соответствующие прижимные головки 591-Н0,25; 591-Н0,9; 591-Н3,0.

В таблице представлены типичные значения коэффициента отражения за счет локальных изменений волноводного параметра на волноводных нерегулярностях волокна, так и в основных компонентах волоконно-оптического тракта.

Таблица 1.

Типичные величины коэффициентов отражения для различных волоконно-оптических компонентов

Компонент (элемент) волоконно-оптического тракта	Максимальный коэффициент отражения, дБ	Минимальный коэффициент отражения, дБ
Макроизгиб волокна	69	>110
Микроизгиб волокна	51	69
Изломы, трещины волокна	14	77
Ответвители	37	71
Оптические переключатели	13	66
Оптические аттенюаторы	9	66
Лазеры и детекторы: - с оптическим изолятором	34	54
- без оптическим изолятором	3	21
Неразъемное соединение: - сварка	69	104
- механическое, влажное	34	56
- механическое, сухое	19	41
Коннекторы: - APC (отполированный под углом 8°)	47	73
- PC (обычный)	19	51
- gap (с зазором)	9	14
Отполированный или ровно сколотый свободный конец волокна	14	15

В статье предлагается способ повышения эффективности защиты оптической информации с помощью модернизации фотоприемников (ФП) излучения. Речь идет об использовании ФП с повышенной фоточувствительностью, что позволит регистрировать более слабые сигналы излучения по сравнению с существующими в настоящее время. Действительно, чем слабее основной сигнал, тем менее вероятно фиксирование мод, вытекающих из волокна.

Это касается вытекающих мод, обусловленных превышением угла ввода сигнала над предельным, а также мод, обусловленных рэлеевским рассеянием, изгибами волокна и т.п.

В настоящее время основным фотоприемниками для оптической связи являются лавинные фотодиоды и p-i-нфотодиоды, изготовленные на основе узкозонных полупроводников.

Отношение полезного сигнала к шуму должно превышать 18 дБ.

Таким образом, регистрация более слабых сигналов (по сравнению с используемыми в настоящее время) требует либо использования более фоточувствительных материалов, либо устройств, обладающих меньшими шумами.

Наши исследования проводились именно в этом направлении.

Изучались лавинные фотодиоды на основе CdP₂[3], фототранзисторы со структурой металл-диэлектрик-полупроводник (МДП), а также МДП-фотоварикап (МДП-ФВ).

Оказалось, что все указанные типы фотоприемников (ФП) перспективны с точки зрения повышения эффективности защиты оптической информации.

2. Исследование МДП-фототранзисторов

Схема МДП-ФВ изображена на рис. 2.

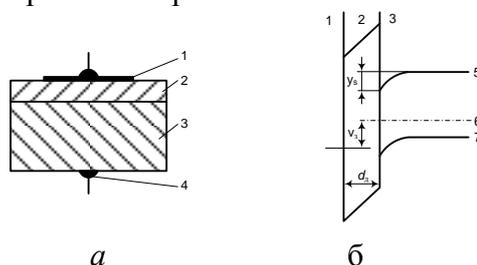


Рис. 2. Схематическое изображение МДП-фототранзистора (а) и его энергетическая диаграмма (б): 1) металлический электрод (затвор); 2) диэлектрик; 3) полупроводник; 4) омический контакт; 5) зона проводимости; 6) уровень Ферми; 7) валентная зона.

В отличие от фотодиодов, которые даже в идеальном случае содержат источники токового шума [2,3], идеальный МДП-ФВ является бестоковым и потому бесшумовым прибором [4,5]. Реальные приборы дают шум, обусловленный главным образом, электронным состоянием границы раздела ДП и инверсного слоя, рис. 3.

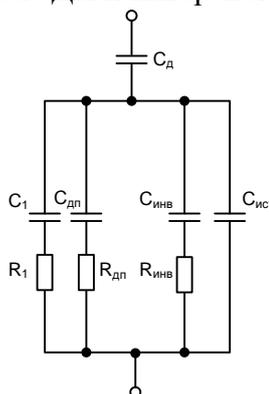


Рис. 3. Эквивалентная схема МДП-структуры (а) и схема, иллюстрирующая соотношение между измеряемыми величинами

В схеме, изображенной на рис. 3, обозначены неконтролируемые величины сопротивления $R_{дп}$ и емкость C_4 .

Измеренные суммарные шумы не превышали 0,08 мкВ, а обнаружительная способность (D^*) достигла высоких значений $10^{13} \text{ В}^{-1} \text{ см}^2 \text{ Гц}^{1/2}$. Это значение превосходило на порядок аналогичную величину для фотодиодов [2]. Порог чувствительности достигается 30 дБм.

Использование предварительного оптического усилителя позволяет увеличить динамический диапазон прибора до 40 дБ.

3. Кремниевый МДП (металл-диэлектрик-полупроводник) – фототранзистор для инфракрасной области спектра

Как уже отмечалось выше, в настоящее время в оптической связи (ОС) в качестве фотоприемников наиболее широко используются фотодиоды. Однако, все более пристальное внимание уделяется использованию фототранзисторов в ОС поскольку по ряду параметров они превосходят фотодиоды.

Ранее был исследован кремниевый МДП-фототранзистор, применяемый для первого окна прозрачности (0,8 мкм). Между тем для ОС наиболее актуально использование фотоприемников в ближней инфракрасной (ИК) области спектра (например, для длины волны λ , равной 1,55 мкм). Известны кремниевые МДП-фототранзисторы для этой области,

основанные на легированном объеме Si применяемые Au, In или Ga. Однако, их существенным недостатком является возможность их использования при пониженных температурах ($T \leq 100$ K). Это обстоятельство исключает их применение в ОС.

Нами предложен кремниевый МДП-фототранзистор, применяемый для использования при комнатной температуре. Предложенное устройство функционирует в ИК области за счет поверхностных термооптических переходов.

Для реализации рассмотренной модели необходима граница раздела Si-SiO₂ с соответствующими дискретными уровнями. В настоящее время указанная граница изучена весьма досконально, в том числе с использованием данных по электронному парамагнитному резонансу. Удалось установить существование двух дискретных поверхностных уровней (выше и ниже середины защищенной зоны) с повышенной концентрацией на фоне квазинепрерывно распределительных уровней с пониженной концентрацией.

Нами были изучены МДП-фототранзисторы, полученные при различной технологии получения слоя SiO₂ и при различных полупрозрачных затворных электродах.

Ниже будут приведены результаты для оптимального варианта, соответствующего реализации рассмотренной выше модели. Этот вариант соответствовал получению SiO₂ при окислении Si в присутствии паров C₂HCl₃ и последующему прогреву в вакууме при 400°C в течение 1 часа.

В качестве полупрозрачного затворного электрода использовалась пленка поликристаллического кремния.

На рис. 4 изображено спектральное распределение фототока канала. Видно, что наблюдается заметная фоточувствительность в ближней ИК-области.

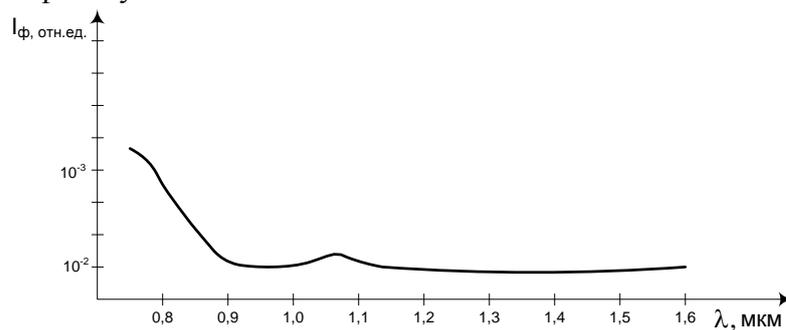


Рис. 4. Спектральное распределение фототока

На рис. 5 изображены зависимости коэффициента чувствительности (κ_I) от напряжения на затворе V_3 .

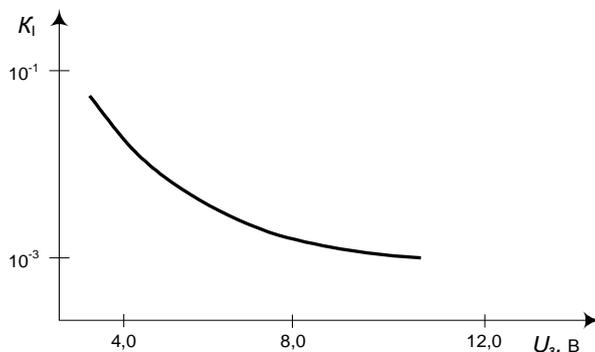


Рис. 5. Зависимость коэффициента чувствительности от напряжения на затворе

Величина κ определяется с помощью следующего выражения

$$\kappa_I = \frac{P_I - P}{P},$$

где P_1 и P - полная (освещение) равновесие (темноты) концентрации в канале

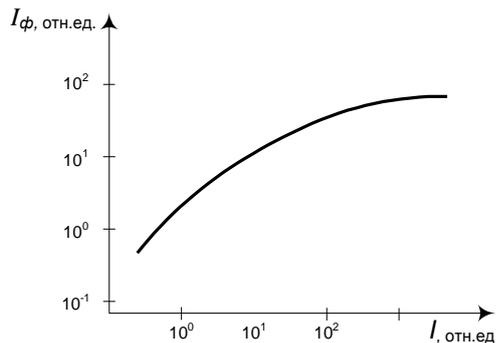


Рис. 6. Зависимость фототока МДП-фототранзистора от интенсивности освещения

Фоточувствительность предложенного прибора составляла $5 \frac{\text{мВт}}{\text{мкДж}}$ (определялась как

отношение выходной мощности к входной энергии излучения).

Измеренные суммарные шумы не превышали 0,1 мкВ, а обнаружительная способность достигала величины $10^{14} \text{ В}^{-1} \text{ см Гц}^{-1/2}$, порог фоточувствительности составлял 40 дБм.

Выводы

В результате приведенных исследований удалось установить, что исследование МДП-фотоприемников позволяет на порядок снизить величину принимаемого полезного сигнала. В результате на величину уменьшается интенсивность и без того слабых мод, вытекающих из волокна. При этом несанкционированный доступ к оптической информации, передаваемой по волокну, становится практически невозможным. Использование МДП-фотоварикапа явилась наиболее эффективным способом повышения эффективности защиты оптической информации.

Литература

1. Стищенко И.К. Классификация способов несанкционированного доступа к информации, передаваемой по оптическому волокну / И.К. Стищенко // Научно-технический журнал «Захист інформації». – 2004. - № 4. - С.18-20.
2. Шевцов Э.А. Фотоприемные устройства волоконно-оптических систем передачи / Э.А. Шевцов, М.Е. Белкин. - М.: Радио и связь, 1992. - 224 с.
3. Зингаева Е.И. Шумовые характеристики фотодиода на основе CdP2 / Е.И. Зингаева, Л.М. Горыня, В.А. Зуев // Система управління, навігації та зв'язку. – 2013. - № 3. - С.150-152.
4. Зуев В.А. Фотоэлектрические МДП-приборы / В.А. Зуев, В.Г. Попов. - М.: Радио и связь, 1983. - 160 с.
5. Sachenko A.V., Zuev V.A., Litovchenko V.O., Peikof P., Photocapcitive effect in MIS structures.- Phys.Stat.Sol (a), vol. 21, no. 1, pp. 345-355, 1974.

Надійшла 12.02.2015 р.

Рецензент: д.т.н., проф. Манько О.О.