

М.А. Анкуда, ст. преп. (БГТУ, г. Минск)

Д.С. Карпович, доц., канд. техн. наук (БГТУ, г. Минск)

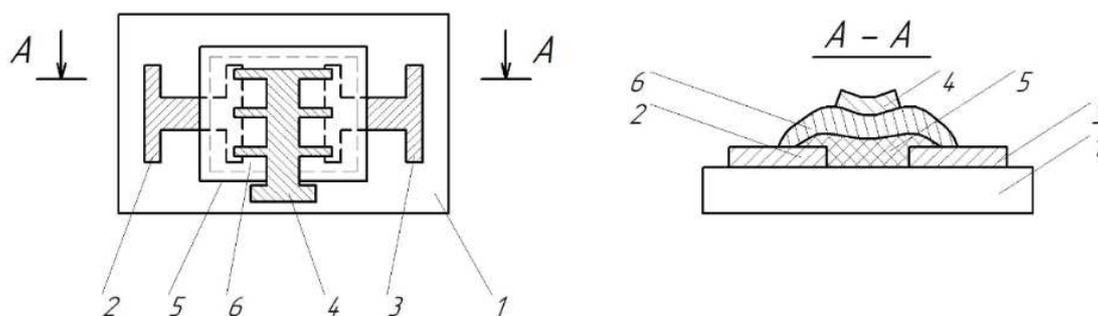
Н.М. Олиферович, ст. преп. (БГТУ, г. Минск)

М.К. Анкуда, ассист. (БГТУ, г. Минск)

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЗМУЩЕНИЙ НА СОПРОТИВЛЕНИЕ ПЛЕНОЧНЫХ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ СЕНСОРОВ

В основе работы полупроводниковых сенсоров на оксидных пленках используется эффект изменения электрического сопротивления некоторых полупроводниковых материалов (поверхностей монокристаллов, пленок), возникающего вследствие адсорбции газа. При появлении исследуемого газа на поверхности сенсора будет происходить процесс его окисления с последующим выделением электронов в обедненный поверхностный слой, что приведет к повышению его проводимости.

Простейший чувствительный элемент пленочного сенсора выполнен в виде пленки полупроводника прямоугольной формы длиной l , шириной b , толщиной d (чаще всего металлоксидного) с двумя контактными площадками и двумя металлическими электродами, находящимися на диэлектрической подложке. При необходимости на последней изготавливается и тонкопленочный нагреватель (рис. 1) [1].



**Рисунок 1 – Тонкопленочный датчик для детектирования
составляющей газовой среды:**

1 – подложка; 2, 3 – измерительные электроды; 4 – вспомогательный электрод;
5 – диэлектрическая пленка; 6 – полупроводниковая пленка

Рассмотрим влияние внешнего электромагнитного излучения на полупроводниковый сенсор. При этом следует учесть, что анализ поля излучения обычно выполняют в сферической системе координат, в центр которой помещен излучатель (см рис. 2) [2]

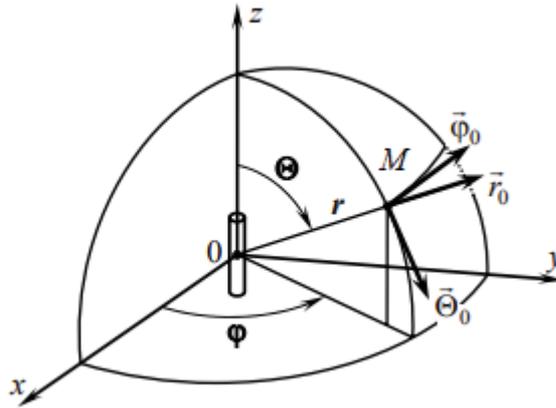


Рисунок 2 – Электромагнитное излучение диполя

Электрический диполь длиной l с однородным током I_{CT} создает напряженности полей, проекции которых определяются соотношениями:

$$E_r = \frac{k l I_{CT}}{2 \pi \omega \epsilon \epsilon_0 r^2} \cdot \left[\frac{1}{kr} \sin(\omega t - kr) + \cos(\omega t - kr) \right] \cdot \cos \theta$$

$$E_\theta = \frac{k^2 l I_{CT}}{4 \pi \omega \epsilon \epsilon_0 r} \cdot \left[\frac{1}{kr} \cos(\omega t - kr) + \left(\frac{1}{k^2 r^2} - 1 \right) \sin(\omega t - kr) \right] \cdot \sin \theta$$

$$H_\alpha = \frac{k l I_{CT}}{4 \pi r} \cdot \left[\frac{1}{kr} \cos(\omega t - kr) - \sin(\omega t - kr) \right] \cdot \sin \theta$$

$$E_\alpha = H_r = H_\theta = 0$$

Из формул следует, что каждая компонента поля (E_r , E_θ , и H_α) имеет постоянную фазу на сферических поверхностях $r = const$, однако эти компоненты не синфазны, а их амплитуды зависят от угловой координаты θ . Это неоднородная гармоническая сферическая волна, распространяющаяся в радиальном направлении и имеющая сложную пространственную структуру. Поле обладает осевой симметрией (отсутствует зависимость от азимутальной координаты φ), причем магнитные силовые линии – это концентрические окружности вокруг оси Z , а электрические силовые линии лежат в меридиональных областях.

Поле в дальней области имеет вид

$$E_\theta = \frac{k^2 l I_{CT}}{4 \pi \omega \epsilon \epsilon_0 r} \cdot \sin(\omega t - kr) \cdot \sin \theta$$

$$E_r \approx 0$$

$$H_\alpha = \frac{k l I_{CT}}{4 \pi r} \cdot \sin(\omega t - kr) \cdot \sin \theta$$

Влияние магнитного поля на характеристики полупроводниковых приборов осуществляется посредством воздействия магнитного поля на движение носителей заряда, которое проявляется эффектом Холла и магниторезистивным эффектом (эффектом Гаусса).

Если вдоль образца пропустить электрический ток I , а перпендикулярно плоскости сенсора создать магнитное поле B , то действие силы Лоренца приводит к отклонению движущихся зарядов от прямолинейной траектории, параллельной продольной оси пленки сенсора, в сторону одной из боковых граней. В результате этого возникает поперечное электрическое поле (поле Холла) \vec{E}_X между боковыми гранями пленки, которую характеризуют разностью потенциалов [3].

$$E_x = \frac{R_h}{d} \cdot i \cdot B \cdot \sin \alpha,$$

где $R_h = \frac{1}{n_0 \cdot e}$ – коэффициент Холла, зависящий от природы вещества пластины; d – толщина пластинки в направлении магнитного поля; i – ток через пластину; α – угол между направлениями векторов магнитной индукции и электрического тока. При этом индукция от внешнего электромагнитного возмущения будет иметь вид:

$$B = \frac{k I I_{CT}}{4\pi r \mu_0} \cdot \sin(\omega t - kr) \cdot \sin \theta$$

За счет эффекта Холла в полупроводниковой пластине будут одновременно присутствовать два ортогональных электрических поля: приложенное электрическое поле \vec{E} и поле Холла \vec{E}_X .

В пластинке возникает суммарное электрическое поле \vec{E}_Σ , направление которого определяется векторной суммой:

$$\vec{E}_\Sigma = \vec{E} + \vec{E}_\theta + \vec{E}_X$$

Угол между векторами \vec{E} и \vec{E}_X носит название угол Холла. Значение угла Холла φ_X определяется из соотношения

$$\tan(\varphi_X) = \frac{E_X}{E_\Sigma} = \mu \cdot B$$

В слабом магнитном поле индукция будет небольшой, а значит угол φ_X будет мал. Следовательно, можно будет принять

$$\varphi_X \approx \tan(\varphi_X) = \mu \cdot B$$

Отклонение траектории движения зарядов от направления внешнего приложенного поля равносильно уменьшению длины свободного пробега носителей l_0 , в направлении приложенного поля:

$$\Delta l = l_0 - l_0 \cdot \cos \varphi_X$$

С учетом малости φ_X можно применить разложение Тейлора к функции $\cos \varphi_X$. Тогда в первом приближении [3]:

$$\Delta l \approx l_0 - l_0 \cdot \left(1 - \frac{\varphi_X^2}{2}\right) = l_0 \cdot \frac{\varphi_X^2}{2}$$

Уменьшение длины свободного пробега зарядов будет эквивалентно уменьшению скорости движения зарядов v , что соответствует возрастанию сопротивления.

Можно утверждать, что изменение сопротивления сенсора под действием электромагнитного возмущения будет определяться:

$$\Delta\rho = \rho_0 \frac{\Delta l}{l_0} = \rho_0 \cdot \frac{\varphi_X^2}{2}$$

Таким образом определили зависимость сопротивления полупроводникового сенсора, который подвержен воздействию внешнего электромагнитного поля через гальваномагнитные эффекты в полупроводниках.

ЛИТЕРАТУРА

1. Карпович, Д. С. Измерительные схемы пленочных сенсоров / Д.С. Карпович, М.А. Анкуда // Химическая технология и техника: материалы 87-й научно-технической конференции профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов, Минск, 31 января – 17 февраля 2023 г. — Минск : БГТУ, 2023. – С. 273-275.

2. Юдин В.И., Останков А.В. Электромагнитные поля и волны. Часть 1. Волны в безграничных и полубесконечных средах: учеб. пособие / В.И. Юдин, А.В. Останков; под общ. ред. В.И. Юдина. – Воронеж: Междунар. ин-т компьют. технологий, 2007. – 182 с.

3. Анкуда, М. А. Анализ влияния электромагнитных воздействий на свойства пленочных полупроводниковых сенсоров / М. А. Анкуда, Д. С. Карпович, Н. М. Олиферович // Химическая технология и техника: материалы 88-й науч.-техн. конф. профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов (с международным участием), Минск, 29 января – 16 февраля 2024 г. – Минск: БГТУ, 2024. – С. 284-287.