

ОЦЕНКА МАКРОСКОПИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ТВЕРДОТЕЛЬНОЙ ПЛАЗМЫ В ПОЛУПРОВОДНИКЕ

к.т.н. Г.Ф. Коняхин, к.т.н. А.Ю. Мелашенко, к.т.н. А.М. Сотников,
В.В. Белимов
(представил д.т.н., проф. Л.Ф. Купченко)

Изложены основные подходы к определению основных макроскопических равновесных параметров полупроводникового слоя поглощающего покрытия радиоизотопного типа.

Известно [1, 2], что перспективными широкодиапазонными покрытиями, предназначенными для снижения радиолокационной заметности летательных аппаратов (ЛА) различного назначения, могут быть радиоизотопные покрытия, основной компонентой которых, с физической точки зрения, является плазмоподобная среда. Такие покрытия должны обеспечивать малоотражающие свойства ЛА за счёт изменения поглощающих характеристик создаваемой в них неравновесной твердотельной плазмы.

В работе [3] показано, что для разработки таких покрытий с использованием твёрдых тел (полупроводников, металлов и т.д.) необходимо дополнительно учитывать квантовую статистику электронной компоненты материалов покрытия. Такое обобщение результатов анализа свойств классических неравновесных систем, исследованных в [4], позволяет применить их к системе электронов в конденсированных средах.

Выбор основных параметров покрытия полностью определяется возможностью изменения электродинамических свойств его плазмоподобной среды путём воздействия на неё различными источниками ионизации. При этом задачу снижения радиолокационной заметности ЛА на основе применения радиоизотопно - полупроводникового покрытия можно сформулировать как задачу создания слабопроводящей среды с большим затуханием, но прозрачной для рассматриваемого диапазона радиоволн.

Учитывая такую важную особенность полупроводника, как сильную зависимость его основного параметра - плотности электронов в зоне проводимости от температуры, подчеркнём, что наиболее перспективным материалом для использования в покрытии могут быть полупроводники с широкой запрещенной зоной, величина которой уменьшается с ростом температуры по закону

$$E_g = \Delta - \xi T, \quad (1)$$

где $\Delta = E_g (T = 0)$ - ширина запрещенной зоны при низкой температуре (ниже температуры Дебая).

Для большинства полупроводников $\xi = 2-4 \cdot 10^{-4}$ эВ/К [5].

Энергия Ферми также зависит от температуры и выражается формулой

$$E_F = \frac{1}{2} E_g + \frac{3}{4} kT/n \frac{m_p}{m_n}, \quad (2)$$

где m_p - эффективная масса дырки;

m_n - эффективная масса электрона.

При этом плотность электронов в зоне проводимости увеличивается по закону

$$n = N_e \Phi_{1/2}(\eta), \quad (3)$$

где плазменный параметр

$$\eta = \frac{E_F^{(T)} - E_g^{(T)}}{T}$$

и концентрация электронов

$$N_e = 2 \left(\frac{m_{n_e} kT}{2\pi\hbar^2} \right)^{3/2},$$

а функция, определяющая температурную зависимость плотности от плазменного параметра,

$$\Phi_{1/2}(\eta) = \frac{1}{\Gamma(3/2)} \int_0^{\infty} \frac{d\varepsilon \sqrt{\varepsilon}}{1 + \exp(\varepsilon - \eta)}, \quad (4)$$

где ε - энергия электрона.

Для расчета макроскопических параметров воспользуемся приближенным (с точностью не ниже процента) представлением выражения (4) в следующем виде:

$$\Phi_{1/2}(\eta) = \begin{cases} \exp(\eta)/1 + 0,27 \exp(\eta) & \text{при } \eta \leq 1,3; \\ \frac{4\eta^{3/2}}{3\sqrt{\pi}} \left(1 + \frac{1,15}{\eta^2} \right) & \text{при } \eta > 1,3. \end{cases} \quad (5)$$

На рис. 1 - 3 представлены графики зависимости основных макроскопических параметров полупроводникового слоя покрытия от температуры в равновесном состоянии. Величина η меняется с температурой по закону, изображенному на графике (рис. 1).

Из графиков на рис. 2, 3 видно, что рост плотности электронов, необходимой для поглощения электромагнитной волны, в зоне проводимо-

сти и увеличение плазменной частоты наблюдается в рассматриваемом нами диапазоне температур.

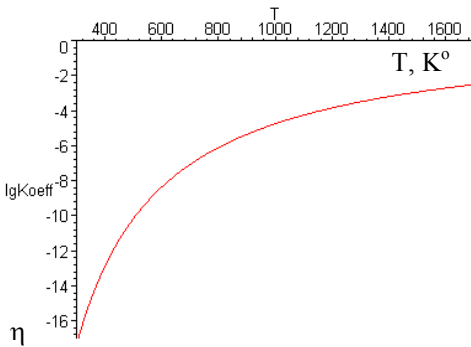


Рис. 1. Зависимость плазменного параметра η от температуры T

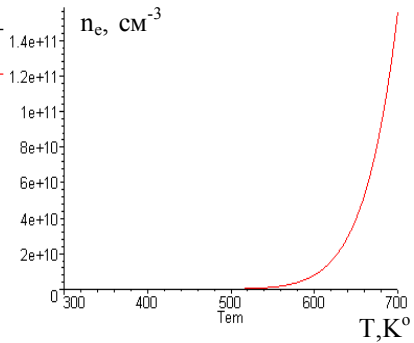


Рис. 2. Зависимость плотности электронов в зоне проводимости от температуры поверхности ЛА

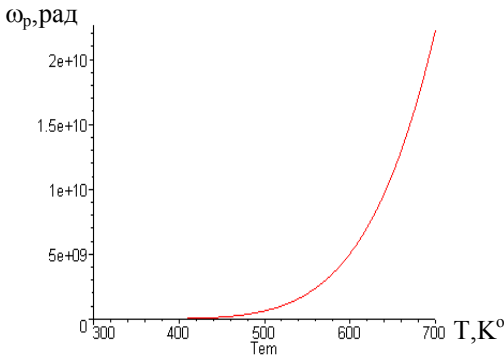


Рис. 3. Зависимость электронной плазменной частоты в зоне проводимости от температуры поверхности ЛА

Наиболее подходящие параметры полупроводника определим из условия совпадения плазменной частоты и частоты зондирующего сигнала $f_p = f$.

В сантиметровом диапазоне длин волн получаем, что параметр η должен быть порядка -14 , и, следовательно, желательная ширина запрещенной зоны порядка $E_g = 1.77$ эВ. Параметрами, близкими к указанным выше значениям, обладают полупроводниковые соединения типа $A^{III}B^V$, основные тер-

модинамические, теплофизические и электрические свойства которых подробно рассмотрены в [5].

Анализ характеристик интересующей нас группы полупроводников показывает, что наиболее близкими к указанным выше значениям, обладают, например, такие полупроводники с широкой запрещенной зоной, как InP и GaP.

Таким образом, эти материалы могут быть основой для поглощающего радиоизотопно - полупроводникового покрытия. Для увеличения затухания при распространении радиоволн в покрытии и расширения его рабочего частотного диапазона в широком температурном интервале необходимо также учитывать влияние кинетических эффектов, направленных на изменения электродинамических свойств покрытия.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шнейдерман Я.А. Радиопоглощающие материалы // Зарубежная радиоэлектроника. – 1975. – № 2. – С. 93 - 113.
2. Бочкарев А.М., Долгов М.Н. Радиолокация малозаметных летательных аппаратов // Зарубежная радиоэлектроника. – 1989. – № 2. – С. 3 - 17.
3. Мелашенко А.Ю. Решение кинетического уравнения для электронов в полупроводниковом слое комбинированного поглощающего покрытия // Системы обработки информации. – Харьков: НАНУ, ПАНМ, ХВУ. – 2000. – Вып.4(10). – С. 121 - 123.
4. Коняхин Г.Ф., Мелашенко А.Ю., Литвина З.Ю., Новиков В.Е., Моисеев С.С. Стационарные неравновесные состояния частиц максвелловского типа с потоками по спектру // Радиоп физика и радиоастрономия. – 1999. – Т. 4, № 2. – С. 160 - 168.
5. Справочник по электродинамическим материалам / Под ред. Ю.В. Корицкого – Л.: Энергоатомиздат, 1988. – С. 406 - 547.

Поступила 28.01.2002

КОНЯХИН Григорий Фатеевич, канд. техн. наук, доцент, профессор кафедры ХВУ. В 1961 году закончил ХВАИУ. Область научных интересов – противодействие системам обнаружения летательных аппаратов, эффективность радионавигационных систем, взаимодействие электромагнитных волн с плазмой.

МЕЛАШЕНКО Александр Юрьевич, канд. техн. наук, старший преподаватель Харьковского военного университета. В 1985 году закончил ХВВКИУ РВ. Область научных интересов – противодействие системам обнаружения летательных аппаратов, взаимодействие электромагнитных волн с плазмой.

СОТНИКОВ Александр Михайлович, канд. техн. наук, доцент, начальник кафедры ХВУ. В 1980 году закончил ХВВКИУ РВ. Область научных интересов – противодействие системам обнаружения летательных аппаратов, эффективность радионавигационных систем, взаимодействие электромагнитных волн с плазмой.

БЕЛИМОВ Владимир Васильевич, заместитель начальника учебной части факультета ХВУ. В 1994 году закончил ХВУ. Область научных интересов – противодействие системам обнаружения летательных аппаратов, взаимодействие электромагнитных волн с плазмой.